

UB Braunschweig 84

2280-968-3



Ueber einige Ziele und Methoden luftelektrischer Untersuchungen

von

J. Elster und H. Geitel

Oberlehrern.

(Mit sieben Figuren im Text.)

Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht des Herzoglichen Gymnasiums
zu Wolfenbüttel 1891.

Wolfenbüttel.

Druck der Hecknerschen Druckerei.
1891.

1891. Progr.-Nr. 690.





Das Interesse für die elektrischen Vorgänge, deren Schauplatz die Erdatmosphäre ist, hat in den letzten Jahren eine merkliche Zunahme erfahren. Theorien sind in grosser Anzahl und Mannigfaltigkeit hervorgetreten, sehr verschiedenartige Gesichtspunkte wurden aufgestellt, von denen aus ein Einblick in dies Gebiet möglich schien, neue Mittel der Beobachtung wurden gefunden und Messungen in allgemein vergleichbarem Maasse angebahnt.

Umfassende Zusammenstellungen der älteren und neueren Arbeiten auf diesem Felde sind kürzlich von den Herren F. Exner¹⁾ und J. Kollert²⁾ gegeben worden, es möge genügen auf diese Abhandlungen hier hinzuweisen.

Auf Grund der neu gewonnenen Kenntnisse und Hilfsmittel ist es möglich geworden, einige Fragen zu bezeichnen, deren Lösung zur weiteren Erforschung der atmosphärisch-electrischen Vorgänge notwendig und daher zuerst erstrebenswert sein würde.

Von grösster Bedeutung für den Erfolg wäre es, wenn es gelänge, physikalisch geschulte Beobachter an zerstreut liegenden Orten für diesen Zweig der Meteorologie zu interessieren. Es ist zwar wahrscheinlich, dass in kurzem auch einige der staatlichen meteorologischen Anstalten in Deutschland luftelektrische Messungen in ihren Wirkungsplan aufnehmen, doch werden voraussichtlich immer die privaten Beobachtungen eine wesentliche, vielleicht unentbehrliche Ergänzung dieser Arbeiten bilden. Denn selbst bei Ausstattung mit den besten Hilfsmitteln und regem Fleisse seiner Beamten kann ein in der durch Rauch und Staub verunreinigten Atmosphäre einer grossen Stadt gelegenes Institut die durch die Ungunst seiner Lage verursachten Schwierigkeiten nicht überwinden und von den Beobachtern der kleineren Stationen dürften wohl nicht viele mit elektrischen Messungen vertraut sein.

In der That sind zuverlässige Resultate auf diesem Gebiete keinesweges einfach zu erhalten, doch werden, wenigstens bei dem jetzigen Stande der Forschung, nicht sowohl besonders weitgehende Anforderungen an die Präzision der in Gebrauch kommenden Instrumente, als vielmehr an die Umsicht und Beharrlichkeit des dieselben handhabenden Beobachters gestellt. Wir glauben, dass diese Eigenartigkeit der Arbeit auf dem Gebiete der atmosphärischen Elektrizität sie geeignet macht, von einem jeden, der mit einer praktischen Ausbildung in physikalischen Beobachtungen und Messungen ausgerüstet sich ihr unter nachhaltigem Interesse widmet, mit Aussicht auf Erfolg unternommen zu werden.

In den folgenden Zeilen möchten wir den Versuch machen, einige Ziele der luftelektrischen Forschung, die eines besonderen Interesses wert sind, zugleich mit den Mitteln, die zu ihrer Erreichung geeignet sein dürften, soweit darzulegen, als zur Einführung eines auf diesem besonderen Gebiete nicht erfahrenen Beobachters ausreichen wird.

I.

Ziele der luftelektrischen Untersuchungen.

Einige der zu besprechenden Vorschläge sind schon von Herrn Linss³⁾ gemacht worden. Für die im folgenden getroffene Auswahl war der Gedanke maassgebend, dass die zur Ausführung der betreffenden Messungen nötigen Hilfsmittel ohne grosse Schwierigkeiten beschafft und von einem einzelnen Beobachter angewandt werden könnten. Soweit es, ohne wesentliches zu übergehen, möglich war, beschränkten wir uns auf Gebiete, auf denen wir selbst Erfahrungen sammeln konnten. Wenn wir hier und da auf eine Theorie der atmosphärischen Elektrizität Bezug nehmen, so geschieht dies deshalb, um Anleitungen zu gewinnen, nach welcher Richtung hin Beobachtungen besonders erwünscht sind. Arbeiten zu dem besonderen Zwecke, irgend eine Theorie zu bestätigen oder zu widerlegen, befürworten wir hier nicht, glauben vielmehr, dass die zu erörternden Untersuchungen einen von jeder speziellen Theorie unabhängigen Wert haben werden.

Es sind drei Aufgaben, auf die wir die Aufmerksamkeit lenken möchten.

Zuerst handelt es sich um systematische Beobachtung und Messung der Zerstreuung der Elektrizität in der freien Atmosphäre zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten unter gleichzeitiger Bestimmung der Feuchtigkeit und der Temperatur der Luft, zweitens um Messungen des atmosphärischen Potentialgefälles bei heiterem Himmel unter denselben Bedingungen und schliesslich um Beobachtungen des Potentialgefälles sowie seiner Wechsel während des Falles von Niederschlägen.

Es mögen nun zunächst einige Bemerkungen darüber erlaubt sein, welche besonderen Probleme durch die Beschaffung eines ausreichenden Beobachtungsmaterials nach diesen drei Richtungen vorzugsweise berührt werden, alsdann folge die Besprechung der eigentlichen Beobachtungsmethoden.

A. Die Zerstreuung der Elektrizität in der Atmosphäre.

Messungen des Zerstreuungskoeffizienten der Elektrizität sind bekanntlich schon von Coulomb⁴⁾ bei Gelegenheit seiner Arbeiten über das Grundgesetz der Fernwirkung elektrischer Massen vorgenommen, in neuerer Zeit sind diese Untersuchungen unter anderen von Herrn Warburg⁵⁾ wiederholt und weiter ausgedehnt worden. Bei diesen Versuchen handelte es sich um die Zerstreuung der Elektrizität in abgeschlossenen Massen ruhender Gase und es wäre voreilig, aus den gewonnenen Resultaten Schlüsse auf das Verhalten der freien Atmosphäre zu ziehen. Es ist unerlässlich, besondere hierauf bezügliche Beobachtungen anzustellen; eine Reihe von solchen ist zuerst von Herrn Linss⁶⁾ unter Hinweis auf die Wichtigkeit derartiger Untersuchungen für unsere Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität mitgeteilt worden. In der That ist diese Bedeutung leicht zu erkennen.

Abgesehen von jeder Theorie der atmosphärischen Elektrizität bleibt als gesicherte Beobachtungsthatsache die bestehen, dass bei heiterem Himmel an der Erdoberfläche ein positives Potentialgefälle in der Richtung der Vertikalen herrscht. Daraus folgt, dass unter dieser Bedingung die Erdoberfläche mit einer Schicht negativer Elektrizität bedeckt ist. Wenn nun durch Beobachtung festgestellt wird, dass von einem offen exponierten

negativ geladenen Körper von beliebiger Oberflächenbeschaffenheit und beliebigem, auch dem der Erde gleichem Potential negative Elektrizität durch Zerstreuung in die freie Luft entweicht, so folgt, dass der gleiche Prozess auch von der Erdoberfläche aus gegen die Atmosphäre hin vor sich gehen muss, d. h., dass von der Erde aus ein kontinuierliches Abströmen negativer Elektrizität in die Luft stattfindet. Hierdurch würde aber die auf der Erdoberfläche verbreitete elektrische Schicht in ihrer Dichtigkeit mehr und mehr abnehmen und infolgedessen das Potentialgefälle in der Richtung der Vertikalen im Laufe der Zeit sinken müssen, wenn nicht durch irgend eine andere Ursache der Erde für die in die Atmosphäre übergegangene Elektrizität ein Ersatz zugeführt würde. Die Beobachtungsthatsache, dass das Potentialgefälle an einem gegebenen Orte zu gleichen Jahres- und Tageszeiten im Mittel nicht sehr verschiedene Werte zeigt, deutet darauf hin, dass in der Atmosphäre eine Ursache in solcher Weise wirksam ist, als ob durch sie die von dem Boden entwichene negative Elektrizität demselben wieder zurückerstattet würde. Welcher Art diese Ursache sei und an welchen Orten sie thätig ist, darüber kann man nur Vermutungen hegen. Bestimmt man nun zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten sowohl den Zerstreuungskoeffizienten wie auch das Potentialgefälle an der Erdoberfläche durch gleichzeitige Beobachtungen, so wird durch den ersteren derjenige Bruchteil der elektrischen Ladung eines Erdoberflächenstückes gemessen, der in der Zeiteinheit in die Luft entweicht, durch das letztere aber die Grösse jener Ladung selbst bestimmt. Das Produkt beider Zahlen stellt somit ein Maass für die Intensität eines Stromes negativer Elektrizität dar, der vom Erdboden aus durch eine vertikale Luftsäule, deren Querschnitt der Flächeneinheit gleich ist, aufsteigt. Ob sich Methoden finden lassen, die Intensität dieses aufsteigenden Stromes direkt zu bestimmen, mag dahingestellt bleiben, jedenfalls ist eine möglichst genaue empirische Kenntniss von dem Gange des Zerstreuungskoeffizienten zu erstreben. Nachdem von Herrn Franz Exner⁷⁾ eine Formel aufgestellt ist, welche das atmosphärische Potentialgefälle als eine Funktion der Menge des in der Volumeinheit der Luft enthaltenen Wassers (annähernd also des Dampfdruckes p) wiedergibt, nämlich $\frac{dV}{dn} = \frac{+A}{1 + Kp}$ (worin A und K Constanten sind) würde der Versuch, den Zerstreuungskoeffizienten der negativen Elektrizität in der freien Atmosphäre ebenfalls auf seine Abhängigkeit von andern meteorologischen Elementen zu prüfen und diese Beziehung durch eine Formel auszudrücken, deshalb besonders der Mühe wert sein, weil damit die Aussicht gegeben ist, die Intensität jenes elektrischen Vertikalstromes in der Atmosphäre auf anderweit zu messende Zustände der Luft zurückzuführen. Dabei ist zu bemerken, dass die obige Gleichung nach der neuesten Veröffentlichung des Herrn F. Exner⁸⁾ durch Beobachtungen an Erdorten sehr verschiedener Lage (Wien, St. Gilgen, Wolfenbüttel, Bombay, Ceylon) so gut bestätigt wird, dass derselben, auch von den Gegnern der Exnerschen Theorie, der Wert einer empirischen Formel zuerkannt werden muss.

Mit diesen Beobachtungen stehen andere in sehr enger Verbindung, die sich auf den Einfluss des Lichtes auf die Zerstreuung der Elektrizität beziehen.

Nachdem Herr Hallwachs⁹⁾ die Erscheinung aufgefunden hatte, dass von einer mit ultravioletttem Lichte bestrahlten Oberfläche negative Elektrizität leichter als positive

in die umgebende Luft entweicht, wurde von Herrn Arrhenius¹⁰⁾ eine Theorie der atmosphärischen Elektrizität aus der Annahme entwickelt, dass im Sonnenlichte der Erdboden negative Elektrizität an die Atmosphäre verliert. Obgleich die Theorie wohl nicht in jeder Beziehung einwandsfrei ist, so hat doch ihr Grundgedanke, dass der Zerstreuungskoeffizient für die negative Erdelektrizität unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung zunimmt, viel Wahrscheinlichkeit für sich, besonders da sich in der Folge Stoffe, allerdings der Mehrzahl nach metallischer Natur, gefunden haben, für welche eine solche Wirkung des Lichtes thatsächlich besteht.¹¹⁾

Es ist daher durchaus zu empfehlen und als ein Erfolg versprechendes Unternehmen zu bezeichnen, zu prüfen, ob sich ausser den bekannten Stoffen noch andere finden lassen, für welche der Zerstreuungskoeffizient der Elektrizität von der Bestrahlung durch Sonnen- oder Tageslicht abhängt. Besonders wichtig für das Verständnis der atmosphärisch elektrischen Vorgänge würde es sein, wie schon Herr L. Sohncke¹²⁾ hervorhob, wenn unter diesen Substanzen solche sich herausstellten, die einen Bestandteil der freien Erdoberfläche bilden. Da die in Rede stehende Wirkung des Lichtes hauptsächlich auf seinem Gehalte an stark brechbaren Strahlen beruht, welche in der Atmosphäre eine verhältnismässig weitgehende Absorption erleiden, so ist der Beobachter seiner Aufgabe gegenüber um so günstiger gestellt, je höher die Sonne über dem Horizonte steht und je grösser die Erhebung des Beobachtungsortes über dem Meeresspiegel ist.

Wir möchten den Abschnitt über die Elektrizitätszerstreuung mit dem Hinweise schliessen, dass Beobachtungen der besprochenen Art, abgesehen von den etwa auf sie zu gründenden meteorologischen Folgerungen, auch allgemeinen Wert haben würden. Ganz vor kurzem ist von Herrn A. Righi¹³⁾ nachgewiesen worden, dass die gewöhnliche Elektrizitätszerstreuung in verdünnten Gasen durch die Erregung eines magnetischen Feldes gehemmt werden kann. Da dieselbe Erscheinung sich bei der lichtelektrischen Zerstreuung zeigt,¹⁴⁾ und auch der Durchgang hochgespannter Elektrizität durch verdünnte Gase im magnetischen Felde erschwert wird,¹⁵⁾ so ist dadurch die Elektrizitätszerstreuung, mag sie durch Licht eingeleitet sein oder nicht, denjenigen Erscheinungen angereicht, die als unzweifelhafte elektrische Entladungen durch Vermittlung von Gasen betrachtet werden. Durch Zurückführung der Elektrizitätszerstreuung in der Luft auf bestimmte Zustände derselben würden also für dies noch wenig aufgeklärte Gebiet der Elektrizitätslehre vielleicht Aufschlüsse zu erhoffen sein.

B. Das Potentialgefälle der atmosphärischen Elektrizität bei heiterem Himmel und seine Perioden.

An zweiter Stelle schlugen wir Messungen des atmosphärischen Potentialgefälles vor. Der genaue Begriff dieser Grösse, welche ein Maass der sogenannten Luftpotelektrizität darstellt, ist erst in den letzten Jahren herausgebildet. Die früheren Beobachter der atmosphärischen Elektrizität beschränkten sich darauf, das elektrische Potential in der Luft an einer beliebig gewählten Stelle zu messen. Die zu verschiedenen Zeiten an einem und demselben Punkte gefundenen Werte sind zwar, so lange die Umgebung des Beobachtungsortes keine Veränderung erfährt, unter sich vergleichbar, hat man dagegen Messungen,

die von verschiedenen Beobachtungspunkten herrühren, so lassen diese nicht ohne weiteres eine Vergleichung zu.

Der Grund liegt in der durch die Form der leitenden Erdoberfläche (z. B. das Vorhandensein von Gebäuden, Bäumen, Bergen) verursachten Verzerrung der elektrischen Niveauflächen. Von Sir William Thomson¹⁶⁾ und mit besonderem Nachdrucke von Herrn F. Exner¹⁷⁾ wurde die Forderung aufgestellt, als die eigentlich zu messende Grösse den elektrischen Potentialunterschied zweier über einem ebenen freien Felde im Vertikalabstande der Längeneinheit gelegenen Punkte zu betrachten. Diese Grösse, das atmosphärische Potentialgefälle, lässt sich für alle Orte (mit Ausnahme stark gebirgiger Gegenden) entweder direkt oder indirekt bestimmen.

Eine grössere Anzahl von Beobachtungen dieser Art bei Abwesenheit atmosphärischer Störungen, also bei wolkenlosem Himmel sind theils von Herrn F. Exner selbst, theils auf seine Anregung hin an den schon genannten Orten ausgeführt,¹⁸⁾ sie bilden in ihrer Gesamtheit (etwa 1100 Einzelmessungen) das Material, auf welches sich die Bestimmung der Constanten der Exner'schen Formel ($A = 1410 \frac{\text{Volt}}{\text{Meter}} k = 1,15$) gründet. Zur möglichst sicheren Feststellung dieser Zahlen ist es wünschenswert, die Messungen weiter fortzusetzen. Besonders wertvoll würden solche sein, die bei extrem niedrigem Dampfdrucke, also bei strenger Kälte an von der See abgelegenen Punkten, gewonnen sind, da gerade für diesen Bereich das vorliegende Material sehr spärlich ist.

Doch auch Beobachtungen unter andern Verhältnissen haben ihren Wert, indem sie ein Mittel zur Erprobung der Formel darbieten. Wenngleich die Wiedergabe der zur Zeit vorhandenen Resultate durch dieselbe im allgemeinen eine überraschend gute genannt werden kann, so zeigen sich doch auch gewisse Abweichungen, die durch ihre Gleichartigkeit auf einen systematischen Fehler hindeuten. Es ergiebt sich nämlich, dass bei Temperaturen in der Nähe des Gefrierpunktes die beobachteten Werte sich schlechter, als bei höheren oder niedrigeren, in die berechneten einordnen. Weitere Forschungen an dieser Stelle werden voraussichtlich nicht resultatlos bleiben; es wäre die Frage zu erwägen, ob diese Abweichungen thatsächlich bestehen, oder vielleicht, wie Herr Exner für möglich hält, nur durch die Ungenauigkeit des Psychrometers bei der betreffenden Temperatur vorgetäuscht werden.

Am meisten Wert haben wiederholte, womöglich stündliche, Beobachtungen an heiteren Tagen, aus denen sich mit einiger Sicherheit Tagesmittel bilden lassen. Einzelmessungen sind, da sie unter dem Einflusse der täglichen Periode der Lufterlektrizität stehen, weit weniger zu dem angegebenen Zwecke verwendbar.

Die vorigen Betrachtungen beziehen sich auf das Potentialgefälle in der unmittelbaren Nähe der Erdoberfläche, an Punkten, die mit den Messapparaten leicht erreicht werden können.

Messungen des elektrischen Feldes der Erde in grösserer Höhe über der Erdoberfläche im freien Luftraume sind zwar von sehr grossem Werte, aber leider mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden und sollen deshalb hier nur kurz berührt werden. Sie lassen nämlich erkennen, ob bei dem Einströmen negativer Elektrizität in die Atmosphäre eine

Ansammlung von elektrischen Massen in derselben stattfindet oder nicht. Ein Kennzeichen hierfür ist, dass das Potentialgefälle bei wachsender Erhebung über die Erdoberfläche, je mehr negativ elektrische Massen unter dem Beobachtungsorte liegen, zunimmt. Thatsächlich hat Herr Exner¹⁹⁾ durch Messungen im Luftballon eine solche Zunahme konstatiert und damit für die Zeit seiner Beobachtung die Existenz negativ elektrisierter Teilchen in der Atmosphäre nachgewiesen. Man denkt dabei zunächst wohl an die in der Luft suspendierten Staubteilchen, deren Anwesenheit sich durch ihre Eigenschaft verrät, Kondensationskerne für die Nebelbildung zu liefern. Nimmt man die Zählung der Staubteilchen in der Volumeneinheit der Luft nach der Methode des Herrn Aitken²⁰⁾ zu Hilfe, so lässt sich nach einer Rechnung des Herrn Linss²¹⁾ unter der Annahme, dass diese Staubkerne ihre elektrische Ladung allein durch Berührung mit der Erdoberfläche oder unter sich erhalten und übertragen haben und der Zustand ein stationärer geworden ist, ein Schluss auf ihre Grösse ziehen, dessen Ergebnis den auf anderem — optischem — Wege gefundenen Werten nicht widerspricht.

Es wäre eine voreilige Folgerung, die gewöhnliche Zerstreuung der Elektrizität allein auf diese in der Luft schwebenden Staubteilchen zurückzuführen. Nach Erreichung des vorausgesetzten stationären Zustandes, d. h., wenn jedes Staubteilchen mit Elektrizität von der Dichtigkeit geladen ist, die es selbst bei Berührung mit der Erdoberfläche empfangen haben würde, müsste nämlich die weitere Zerstreuung von einem Konduktor, dessen elektrische Dichtigkeit der der Erdelektrizität gleich ist, aufhören. Dies ist aber nach den eigenen Erfahrungen des Herrn Linss in hohem Grade zweifelhaft und auch nach dem am Schlusse des Abschnittes über die Zerstreuung der Elektrizität Gesagtem an sich unwahrscheinlich. Die unmittelbare Beobachtung kann hier allein entscheiden.

Die tägliche Periode, welche das atmosphärische Potentialgefälle, so weit bis jetzt bekannt ist, bei reinem oder fast wolkenlosem Himmel an allen Orten der gemässigten Breiten aufweist, verdient eine besondere Aufmerksamkeit. Sie ist eine noch rätselhafte und man kann fast sagen, zur Zeit noch widerspruchsvolle Erscheinung. Gerade an dieser Stelle können, wie es scheint, gleichzeitige Beobachtungen an verschiedenen Orten wichtige Aufschlüsse fördern.

Aus den vorliegenden Erfahrungen lässt sich wohl das eine mit einiger Berechtigung entnehmen, dass das Potentialgefälle im allgemeinen seine stärksten Schwankungen in der Zeit vom Sonnenaufgang bis (einschliesslich) Sonnenuntergang erleidet. Dabei hat das Ansteigen der Sonne am Himmel durchschnittlich die Wirkung, das Gefälle zu verkleinern, doch tritt keinesweges immer das Minimum zur Mittagszeit ein; es findet zumeist eine erhebliche Verzögerung statt, sodass sogar die kleinsten Werte erst gegen Sonnenuntergang beobachtet werden können. Diese Abhängigkeit vom Sonnenstande verwischt sich im Laufe des Jahres um so mehr, je kleiner der Winkel wird, unter dem zur Mittagszeit die Sonnenstrahlen den Erdboden treffen, in den Monaten November, Dezember, Januar sind Maxima der Lufterlektrizität zu beliebiger Tageszeit keine ungewöhnliche Erscheinung.

Nun ist nach den bis jetzt vorliegenden Erfahrungen nicht unwahrscheinlich, dass jene Abnahme des Potentialgefälles während der Insolation des Erdbodens für die wärmere Jahreszeit eine weit, vielleicht allgemein verbreitete ist, während die weniger regelmässigen

Schwankungen, die zur Winterszeit am häufigsten sind, den Charakter lokaler Störungen tragen. Hierfür spricht z. B. der Umstand, dass für die Frühlings-, Sommer- und Herbstmonate die täglichen Kurven der Luftelektrizität, die Herr Denza²²⁾ in Moncalieri in einem Zeitraume von sieben Jahren erhielt, manche Ähnlichkeit mit den in Wolfenbüttel in den entsprechenden Monaten gefundenen zeigen, auch die Beobachtungen aus Kew²³⁾ scheinen im ganzen dasselbe Verhalten zu bestätigen. Die Kurven von Dezember und Januar dagegen lassen keine deutliche Übereinstimmungen erkennen.

Wenn nun in der That die Schwankungen des Potentialgefälles theils auf eine allgemein wirkende, von der Tageszeit abhängige, theils auf lokale Ursachen zurückzuführen wären, so müsste es möglich sein, diese Wirkungen durch gleichzeitige Beobachtungen an verschiedenen, über einen grösseren Raum zerstreuten Stationen zu trennen. Eine Vergleichung der gewonnenen Tageskurven würde voraussichtlich die korrespondierenden Schwankungen erkennen lassen. Vereinfacht wären die Bedingungen von vornherein, wenn jene Orte in nahezu gleicher Meereshöhe gelegen sind.

Vorausgesetzt, dass solche korrespondierenden Beobachtungen die Möglichkeit gewährten, die lokalen und unregelmässigen Schwankungen der Luftelektrizität von den allgemeinen und periodischen zu scheiden, so liesse sich mit Aussicht auf Erfolg eine Frage in Angriff nehmen, die schon von den Herren J. Hann²⁴⁾ und Neumayer²⁵⁾ angeregt worden ist. Diese betrifft den etwaigen Zusammenhang zwischen der täglichen Periode des Luftdruckes und der der atmosphärischen Elektrizität. Auch beim Luftdrucke hat man es in unsern Breiten zunächst mit unperiodischen grossen Variationen zu thun, die durch vorübergehende Prozesse in der Atmosphäre verursacht werden. Unter diesen starken Schwankungen verschwinden fast die kleinen regelmässigen der täglichen Variation. Sie stellen sich, wie eben aus ihrer 24stündigen Periode hervorgeht, als von der Erdrotation abhängig dar, und es wäre in der That von höchstem Interesse, wenn die beiden so verschiedenartigen Erscheinungen des Luftdrucks und des Potentialgefälles in ihrer täglichen Periode zusammenfielen oder etwa für alle Erdorte einen konstanten Phasenunterschied zeigten. Nachdem von Herrn Hann²⁶⁾ die Konstanten der Luftdruckperiode für die verschiedensten Orte berechnet sind, ist es nicht schwierig, die Kurve des Potentialgefälles mit der des Barometerstandes zu vergleichen.

Dass auch noch andere Beziehungen aufgesucht werden können, sobald für einen gegebenen Erdort zu einer bestimmten Jahreszeit die tägliche Kurve des Potentialgefälles feststeht, möge nur angedeutet werden. Sobald nämlich auch die des Zerstreuungskoeffizienten bekannt ist, ist es an der Zeit, einem Zusammenhange der Produkte aus Zerstreuungskoeffizient und Potentialgefälle (nach den Ausführungen des ersten Abschnitts sind diese Zahlen der Intensität des in die Atmosphäre eindringenden Stromes negativer Elektrizität proportional) mit der täglichen Variation der erdmagnetischen Elemente nachzuforschen.

Ferner würden sich gewisse Abweichungen von dem normalen Verhalten des elektrischen Feldes der Erde mit grösserer Sicherheit erkennen lassen, die mit dem Herannahen atmosphärischer Störungen, besonders von Niederschlagsgebieten, verbunden zu sein scheinen. Wir haben selbst schon versucht, auf Grund unserer Wolfen-

bütteler Beobachtungen mit Hilfe der von der deutschen Seewarte ausgegebenen synoptischen Wetterkarten den Einfluss festzustellen, den ferne Regengebiete auf das atmosphärische Potentialgefälle selbst dann ausüben, wenn am Beobachtungsorte noch heiterer Himmel herrscht²⁷⁾. Es scheint aus dieser Untersuchung hervorzugehen, dass sie im allgemeinen das Potentialgefälle unter den normalen Betrag herabdrücken.

Wie schon bemerkt wurde, lässt sich das Potentialgefälle in einem für die ganze Erde vergleichbaren Maasse nur über einer nicht zu beschränkten, nahezu ebenen Fläche feststellen. Die im gebirgigen Terrain beobachteten Werte gelten nur für den Standpunkt, an dem sie gewonnen sind, weil die Flächen gleicher Potentialunterschiede, die über einer Ebene horizontal und in gleichen Abständen verlaufen, dort durch die verschiedene Bodengestaltung eine durch die Rechnung nicht feststellbare Verschiebung und Verbiegung erleiden. In Thalböden werden sie im allgemeinen weiter auseinander weichen, um Bergspitzen sich dichter zusammendrängen. Erst in einiger Entfernung von der Erdoberfläche wird das elektrische Feld als homogen betrachtet werden können. Hieraus ergibt sich, dass Messungen am Erdboden, und um diese handelt es sich nur, als Maass der Intensität dieses Feldes mit denen der Ebene nicht vergleichbar sein können. Nichts destoweniger sind sie zur Feststellung der Periode der Lufterlektrizität, wie diese zu verwenden. Wie es scheint, zeigt dieselbe gerade im Gebirge ein besonderes Verhalten. So fand Herr F. Exner in St. Gilgen am Wolfgangsee in den Sommermonaten einen im ganzen gleichförmigen Charakter des Potentialgefälles²⁸⁾, nur unterbrochen durch zwei schnell ablaufende starke Maxima um 9a und um Sonnenuntergang. Einen ähnlichen Verlauf konnte Einer von uns durch eine Beobachtungsreihe im Pragser Thale (in der Nähe von Toblach) konstatieren. In der Ebene (Wolfenbüttel) haben wir dergleichen nicht beobachtet. Eine andere Eigentümlichkeit scheint hohen Bergspitzen zuzukommen. Herr F. Exner²⁹⁾ beobachtete auf dem Schafberge (1780 Meter) im September 1887 und wir selbst auf dem Sonnblick (3100 Meter) im Juli 1890³⁰⁾ eine im Vergleich zu der für die Ebene bekannten sehr geringe Veränderlichkeit der Lufterlektrizität. Es wäre hiernach darauf zu achten, ob mit zunehmender Seehöhe, bei freier Lage des Beobachtungsortes, das Potentialgefälle im Laufe des Tages sich von grösserer Konstanz zeigt.

Tief in Thälern gelegene Orte sind für Untersuchungen dieser Art wenig geeignet. Der Mangel an Luftzirkulation lässt gewisse Störungen aufkommen, welche die normalen Verhältnisse völlig entstellen. So können zerstäubende Wasserläufe ein eingeschlossenes Thalbecken mit einer Schicht negativ elektrischer Luft anfüllen³¹⁾.

Wie schon aus der von Herrn Exner gefundenen Abhängigkeit des Potentialgefälles vom Dampfdrucke hervorgeht, muss dasselbe eine deutliche jährliche Periode aufweisen. Diese ergibt sich, sobald genügend viel Einzelbeobachtungen vorliegen, aus den Tages- bzw. Monatsmitteln von selbst.

Alle die im vorigen besprochenen Beobachtungen bezogen sich auf das sogenannte normale Potentialgefälle, also auf das elektrische Feld der Erde bei völlig oder fast wolkenlosem Himmel. Unter diesen Verhältnissen ergeben sich je nach der Tages- und Jahreszeit Werte, die zwischen $+ 50$ und $+ 800 \frac{\text{Volt}}{\text{Meter}}$ schwanken. Sehr selten beobachtet man bei heiterem Himmel

Spannungen, die den Betrag von + 1000 Volt übersteigen oder selbst negativ ausfallen. Man betrachtet diese Abweichungen von dem gewöhnlichen Gange als Störungen. Es ist ersichtlich, dass es erwünscht sein muss, in jedem einzelnen Falle die Berechtigung hierzu nachzuweisen, d. h. eine aussergewöhnliche Erscheinung zu finden, die als Ursache angesehen werden kann. Wir möchten einige Beispiele aus unserer Erfahrung anführen. Am 7. März 1889 schwankte bei leichter Cirrhusbedeckung des Himmels das Potentialgefälle zwischen + 1800 und — 1200 Volt³²⁾. Der Tag konnte zwar nicht als ein normaler gelten, da in 6 Stunden die Temperatur von — 10,1° bis + 2,2° C stieg, doch liegt keine Berechtigung vor, diesen Temperatursprung für die gänzlich abnormen negativen Werte verantwortlich zu machen. Es war uns sehr interessant, aus einer Notiz in der Meteorologischen Zeitschrift³³⁾ und einer mündlichen Mitteilung des Herrn F. Exner zu erfahren, dass am Tage vorher in Alexandrien der heftigste Sandsturm beobachtet wurde, der grosse Staubmassen nach Norden über das Meer getragen hat. Leider ist uns keine elektrische Beobachtung an einem anderen Orte vom gleichen Tage bekannt geworden, es ist also nicht zu entscheiden, ob die Störung eine weitere Verbreitung gefunden hatte, und ein Zusammenhang mit jenem Sandsturme bestand. Negative Werte der Lufterlektrizität beobachteten wir ebenfalls bei völlig heiterem Himmel und — 15° C im Dezember 1890, während ein frischer S. E. eine dünne Schicht Staubschnee über ein älteres Schneelager hinwegtrieb. Es ist wahrscheinlich, dass hier Reibungsvorgänge im Spiele gewesen sind, da trockner Schnee, ähnlich wie es von erhitztem Wüstensande bekannt ist, beim Gleiten über den Boden elektrisch zu werden scheint. Immerhin wäre es interessant gewesen, die geographische Verbreitung dieser Anomalie feststellen zu können. — Schliesslich führen wir noch an, dass wir, allerdings bei bedecktem Himmel, gelegentlich der totalen Sonnenfinsternis am 19. August 1887³⁴⁾ ein plötzliches Ansteigen der positiven Lufterlektrizität nach Ablauf der Totalität beobachtet haben. Für sich allein ziemlich wertlos, wäre diese Wahrnehmung nicht ohne Bedeutung, wenn sie durch andere Beobachter hätte bestätigt werden können.

Diese Beispiele zeigen, dass auch für solche Anomalien, wie sie bei andauernder Überwachung der Lufterlektrizität selbst zufällig aufgegriffen werden, ein Zusammenarbeiten getrennter Stationen von Wert sein würde.

C. Störungen des Potentialgefälles durch Niederschläge.

Wir wenden uns nun zu derjenigen Art von Beobachtungen, die wir an dritter Stelle namhaft machten und welche das anormale Potentialgefälle zum Gegenstande haben, das in Verbindung mit dem Falle von Niederschlägen auftritt.

Bezeichnend für dasselbe ist seine grosse Unbeständigkeit; Schwankungen von über 1000 $\frac{\text{Volt}}{\text{Meter}}$ zwischen hohen positiven und negativen Werten im Zeitraume weniger Minuten sind, selbst ohne dass Blitzentladungen stattfinden, ganz gewöhnliche Erscheinungen. Es ist noch nicht möglich gewesen, eine zuverlässige Regel für diese Veränderungen aufzustellen, Behauptungen der Art, dass bei Niederschlagsfällen, speziell Regen, meist negative Werte beobachtet würden, entsprechen den Thatsachen nicht, es ist überhaupt schwer zu sagen, welches Vorzeichen durchschnittlich am häufigsten konstatiert wird. Richtig wird der

wirkliche Sachverhalt von Palmieri³⁵⁾ wiedergegeben, wenn er sagt: Wenn negative Luftelektrizität beobachtet wird, so müssen entweder am Beobachtungsorte selbst, oder in seiner Nähe Niederschläge erfolgen. Eine Umkehrung des Satzes ist nicht erlaubt.

Das Vorkommen beider Elektrizitäten innerhalb des Niederschlagsgebietes weist darauf hin, dass die Scheidung derselben erst während der Niederschlagsbildung erfolgt. Wenn es gelingt, diese nach den bis jetzt vorliegenden Erfahrungen berechnete Vermutung zur Gewissheit zu erheben, so ist damit für die Theorie der Niederschlagselektrizität eine feste Grundlage gegeben. Es käme darauf an, elektrische Beobachtungen beim Herannahen von Wolken, die keine Niederschläge entsenden, anzustellen. Findet sich allgemein bestätigt, dass das atmosphärische Potentialgefälle nur in kleinen Grenzen schwankt (eine gewisse Schirmwirkung müssen die Wolken als Dielectrica ausüben), dass aber keine anormalen hohen positiven oder gar negativen Werte auftreten, so müssen diejenigen Theorien der Wolkenelektrizität als widerlegt angesehen werden, die eine bestimmte Verteilung der beiden Elektrizitäten in den Wolken, ohne Rücksicht auf den Fall von Niederschlägen, annehmen. Umgekehrt würde etwa eine sicher konstatierte Blitzentladung aus einer Wolke, die weder Regen noch Wasser im festen Zustande entsendet, vom höchsten wissenschaftlichen Interesse sein. Wir würden allerdings einem derartigen Berichte gegenüber die äusserste Kritik für geboten erachten.

Mag man sich nun in den Niederschlagsgebieten die Elektrizitäten an den Wolken selbst und an den aus ihnen sich herabsenkenden Wasserteilchen haftend denken oder auch an der sie umspülenden Luft, mag man die Wolken als elektrische Schichten auffassen, die sich gegeneinander verschieben, immer wird es von Interesse sein, zu erfahren, wie verhält sich das Potentialgefälle an der Erdoberfläche 1) vor Eintreffen des Niederschlagsgebietes über dem Beobachtungsorte, 2) während des Falles der Niederschläge, 3) bei und nach Abzug der Wolke.

Es scheint, dass im allgemeinen ein Zeichengegensatz des Potentialgefälles besteht für Punkte, die unterhalb der Wolkenfront und ihrem Centrum liegen. Häufig beobachtet man an der ersten Stelle abnorm hohe positive, in der Mitte also negative Werte, auch an der Rückseite der Wolke hält sich das negative Gefälle oft noch lange Zeit, nachdem der Niederschlagsfall vorüber ist. Palmieri³⁶⁾ stellte auf Grund seiner Erfahrungen die Ansicht auf, dass unter den regnenden Wolken eine zonenartige Verteilung der Elektrizitäten herrsche, auch Dellmann³⁷⁾ war zu ähnlichen Vorstellungen gekommen. Nach einer von Herrn Linss³⁸⁾ ausgeführten Rechnung muss eine solche Verteilung thatsächlich beobachtet werden, wenn man die Wolken als elektrische Schichten parallel der Erdoberfläche von entgegengesetzten elektrischen Ladungen auffasst. Weitere Beobachtungen sind dringend notwendig, bei denen auch Nebenumstände in Betracht zu ziehen sind. Besonders ist darauf zu achten, ob ein Zusammenhang zwischen den Vorzeichen-Wechseln des Potentialgefälles und Änderungen in der Beschaffenheit der Niederschläge bemerkt werden kann. Dabei ist hervorzuheben, dass es völlig unstatthaft wäre, das Vorzeichen des Potentialgefälles mit dem der Elektrizität der fallenden Niederschläge zu identifizieren. Beobachtungen, welche die letztere allein betreffen³⁹⁾, erfordern besondere, schwer herzurichtende Vorkehrungen. Wir schliessen sie daher hier von der Betrachtung aus.

In dies Gebiet gehören noch Untersuchungen des Potentialgefälles bei Nebel. Häufig tritt in Nebelschichten, die in den Wintermonaten, besonders im Gebiete einer Antizyklone, auf dem Erdboden lagern, und in denen Glatteis- oder Rauhreifbildung die Gegenwart von überkältem Wasser erkennen lässt, eine hohe positive Störung der Luftelektrizität ein. Nässende Nebel bei höherer Temperatur scheinen bei weitem nicht in gleichem Maasse zu wirken. Es wäre wichtig, festzustellen, ob diese Erscheinung allgemein bemerkt wird, und ob die elektrische Störung mit dem Nebel in ursächlichem Zusammenhange steht. Wir haben zuweilen auch ohne dass Nebelbildung nachweisbar war, ähnliche Störungen an kalten Wintertagen beobachtet. Man richte also seine Aufmerksamkeit auch darauf, ob nach dem Verschwinden des Nebels das Potentialgefälle wieder normal geworden ist.

Hiermit möchten wir die Betrachtungen allgemeiner Art abschliessen.

Während die Beobachtungen der beiden ersten Gruppen, betreffend die Elektrizitätszerstreuung und das normale Potentialgefälle insofern zusammengehören, als sie bei gleichzeitiger Ausführung ihren Wert gegenseitig erhöhen, können die der letzten als für sich gesonderte betrachtet werden. Es ist jedenfalls eine zweckmässige Beschränkung, das Potentialgefälle bei Niederschlägen mit dem bei heiterem Himmel beobachteten nicht zusammenzuwerfen. Dass damit nicht die Möglichkeit geleugnet werden soll, diese beiden Erscheinungsgebiete von einem gemeinsamen Gesichtspunkte zu betrachten, ist wohl kaum nötig hervorzuheben. Ganz bestimmte, dahin zielende Vorschläge haben wir an verschiedenen Orten ausgesprochen⁴⁰). Man wird im allgemeinen wohl thun, nicht zu viel verschiedenartige Beobachtungen auf einmal zu unternehmen, der Aufwand an Zeit und Mühe, den eine gewissenhafte Durchführung der einmal begonnen Aufgabe erfordert, ist keineswegs gering.

Den folgenden Abschnitt bildet die Auseinandersetzung der Beobachtungsmethoden.

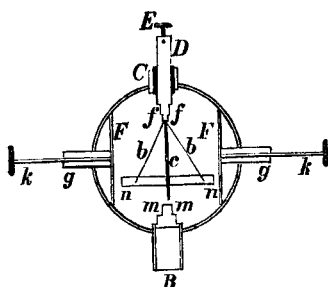
II.

Methoden der Beobachtung.

A. Das Exnersche Elektroskop.

Ein Elektrometer, das zur Ermittlung des elektrischen Zustandes der Atmosphäre tauglich sein soll, muss leicht transportabel sein und dabei ein schnelles und doch sicheres Arbeiten gestatten. Diesen Bedingungen genügt durchaus das vor kurzem von Herrn F. Exner konstruierte und von dem Mechaniker F. Schorss in Wien in den Handel gebrachte „transportable Aluminiumblattelektroskop“⁴¹). (Fig. 1.)

Fig. 1.



Im Wesentlichen unterscheidet sich dieses Instrument von den sonst üblichen dadurch, dass die beiden an den Abflachungen f eines runden isolierten Messingstiftes D befestigten Aluminiumblättchen b durch eine mit ihnen leitend verbundene Kupferplatte c von circa 9 mm Breite auseinander gehalten werden, an die sie sich, wenn unelektrisch, anlehnen. Durch diesen Zwischenstreifen c wird einmal die Empfindlichkeit des Instrumentes erheblich vermehrt (nahezu verdoppelt), sodann wird verhütet, dass die Blättchen in der Ruhelage aneinander

haften. Zwei metallische Backen F , gewöhnlich bis nahe an c herangeschoben, gewähren ferner den zarten etwa 3 mm breiten Metallstreifen beim Transport des Instrumentes einen ausreichenden Schutz. Zugleich tragen sie in zurückgezogener Lage viel zur Erhöhung der Empfindlichkeit des Instrumentes bei. Die Vorder- und Hinter-Seite des flachen, metallischen Gehäuses werden durch abnehmbare Glasplatten gebildet; von diesen trägt die dem Beobachter zugewandte eine aufgeklebte Millimeterskala n , die abgewandte einen (in der Figur nicht gezeichneten) Visirstreifen. Vermittelt der Messinghülse B lässt sich das Elektroskop entweder auf eine leitende (Messingstab) oder auch, wenn erforderlich, auf eine isolierende Handhabe (Ebonitstab) aufstecken. Alle isolierenden Teile des Apparates sind aus Ebonit gearbeitet; Herr Exner erzielt eine ausgezeichnete Isolation dieses Materials durch Ueberziehen der freien Oberflächen mit einer Lage ganz dünnen Schellackfirnisses. Dem Apparat wird ein Etui beigegeben, so dass es in der Tasche nach Art eines Aneroids mitgeführt werden kann.

Die Handhabung dieses Instrumentes ist sehr einfach:

Zunächst verbindet man den Körper, dessen Potentialdifferenz gegen die Erde gemessen werden soll, leitend durch einen dünnen Metalldraht von etwa 2 bis 2,5 Meter Länge mit dem Knopf des Elektroskopes, und zieht, nachdem es in vertikaler Lage gebracht, die beiden Metallbacken F soweit als möglich zurück. Darauf neigt man, wenn die Divergenz der Blättchen eine weitere Zunahme nicht mehr zeigt, das Elektroskop ein wenig, um zu bewirken, dass eines derselben auf einen vollen Teilstrich einspielt; alsdann wird die Grösse der Divergenz in Millimetern (Zehntel geschätzt) bestimmt. Es ist sorgfältig darauf zu achten, dass die Skala n den auf der Rückwand angebrachten Visirstreifen genau deckt. Durch Annäherung der durch Reibung leicht elektrisierbaren, ebenfalls in dem Etui enthaltenen Ebonitstange mit matter Oberfläche wird noch das Zeichen der Elektrizität ermittelt und die Messung ist beendet. Das Zeichen bestimmt man zuverlässiger durch Nähern des positiven Poles einer kleinen Zambonischen Säule, deren Plattenpaare auf einer Seidenschnur aufgereiht sind. Mit Hilfe einer solchen von etwa 500 Plattenpaaren ist der Sinn der Elektrisierung selbst bei Thaufall leicht und sicher festzustellen.

Das Instrument erfordert in seiner Behandlung durchaus keine besondere Vorsicht, nur muss man sich hüten, so lange die Metallbacken F auseinander gezogen sind, dasselbe in eine horizontale Lage zu bringen.

Es erübrigt alsdann noch, die Anzahl der an der Skala abgelesenen Millimeter auf Volt zu reduzieren.

Zu diesem Zwecke ist jedem Elektroskop eine Tabelle beigegeben, vermittelt welcher diese Reduktion vorgenommen wird. Diese Tabelle bleibt natürlich nur so lange gültig, als dasselbe Blättchenpaar in Anwendung gebracht wird. Geht durch irgend ein Versehen eines derselben verloren, so ist die Kalibrierung zu erneuern. Man hat alsdann nur die Wahl, entweder das Einziehen der Aluminiumstreifen selbst vorzunehmen und das Instrument von neuem zu aichen, oder dasselbe dem Mechaniker zur Reparatur zuzuschicken. Wir haben stets den ersteren Weg eingeschlagen; derselbe ist deshalb besonders empfehlenswert, weil man erst dadurch, dass man die Kalibrierung selbst vornimmt, ein richtiges Urteil über die Leistungsfähigkeit des Elektroskopes und die bei den Messungen erreichbare

Genauigkeit erhält. Allerdings darf nicht verschwiegen werden, dass die Ausführung einer derartigen Kalibrierung mühevoll und zeitraubend ist.

Das Einziehen neuer Blättchen ist dagegen eine verhältnismässig einfache Operation:

Man lege ein passendes Stück Aluminiumfolie zwischen zwei Blätter des Papieres, in dem sie zum Versandt kommt und schneide am Lineal mit einem haarscharfen Messer das Papier und damit auch die zwischenliegende Folie in etwa 3.5 mm breite Streifen, denen man alsdann noch die erforderliche Länge giebt. Nun entferne man die beiden Glasdeckel von dem Gehäuse des Elektroskopes, klemme es in einem passenden Halter horizontal ein, ziehe die obere der Metallbacken F ganz zurück und lege eines der neugeschnittenen Blättchen auf die Zwischenplatte c auf. Nachdem dasselbe richtig orientiert worden, hebe man mit einem reinen Messer das den Abflachungen f zugewandte Ende des Streifens vorsichtig auf und bringe mittelst eines dünnen Holzstäbchens an die abgeflachte Fläche eine Spur schwerflüssigen Tischlerleims.*) Darauf ziehe man das Messer vorsichtig zurück und lasse dadurch das äusserste Ende des Blättchens auf die mit Leim befeuchtete Stelle niederfallen. Jetzt schiebe man die Metallbacke F wieder bis zum Anschlagen an f vor und ziehe nun in ganz analoger Weise den zweiten Streifen ein. Alsdann prüfe man, ob die neuen Aluminiumblättchen eine genaue Ablesung gestatten und vor allem, ob der Ausschlag nach beiden Seiten nahe symmetrisch ist. Bei einiger Uebung gelingt es bald, sie so anzubringen, dass bei symmetrischem Ausschlage ein scharfes Ablesen möglich ist.

Zur Aichung des Elektroskopes in Volt bedarf man einer vielpaarigen, galvanischen Batterie**) von bekannter elektromotorischer Kraft. Auch diese kann, nach Herrn Exner's Vorschrift konstruiert, von dem genannten Mechaniker bezogen werden. Wir verwandten stets nach Herrn Exner's Vorgange eine Platin-Zink-Wasserbatterie von 200 Elementen, deren Beschreibung hier folgt.

Fünf Bretter aus trockenem Tannenholz von 90 cm Länge und 10 cm Breite wurden je mit einem circa 8 mm hohen Rande versehen und die so gebildeten flachen Kästen mit einer Mischung von Kolophonium und Wachs ausgegossen. Auf je einer dieser isolierenden Unterlagen, die einander nicht berühren dürfen und von dem Tische durch horizontal gelegte Siegellackstangen isoliert sein müssen, fanden 50 Opodeldokgläschen von 10 Gramm Inhalt Aufstellung, in welche Streifchen aus Zinkblech mit angelötheten Platindrähten von 0.3 mm Dicke eintauchten. Das zur Füllung dienende Regenwasser lässt man am besten aus einem Gummischlauch mit passender Ausflussspitze aus einem hochgestellten Wasserreservoir in die Gläschen eintreten. Am Ende jedes Brettchens kitteten wir je zwei Siegellackständer auf, die eiserne Fingerhüte, aus denen der innere Bleimantel entfernt war, trugen; letztere dienten als Quecksilbernäpfchen und somit zur Herstellung der notwendigen Verbindungen. Durch Einhängen von Drahtbügeln mit isolierender Handhabe

*) Mit dem von Herrn Exner empfohlenen Gummi arabicum haben wir keine guten Erfahrungen gemacht. Bei tiefen Temperaturen springt dasselbe leicht von dem Metalle los.

**) Auf der diesjährigen Naturforscherversammlung in Bremen empfahl Herr Quincke zu derartigen Zwecken eine von ihm „Harfenbatterie“ genannte Kette, bestehend aus 200 Latimer-Clark-Elementen. Die bekannte Konstanz der letzteren dürfte in der That diese Batterie zur Kalibrierung Exner'scher Elektroskope besonders geeignet erscheinen lassen.

(Siegelackstäbchen) lässt sich so nach Bedarf eine Batterie von 50, 100, 150 oder 200 Elementen herstellen.

Die Zinkstreifen sind vor dem Gebrauchen sehr sorgfältig zu reinigen; am besten blank zu feilen oder zu schmirgeln; alsdann ist die elektromotorische Kraft eines solchen Elementes im Mittel gleich 1.06 Volt. Die Gesamtspannung der Batterie beträgt also bei Ableitung eines ihrer Pole zur Erde sehr nahe 212 Volt.

Bei der Aichung des Elektroskopes verfährt man folgendermassen:

Das Gehäuse des Elektroskopes wird durch Verbindung mit der Gasleitung des Hauses gut zur Erde abgeleitet, der Knopf durch einen Draht mit einem Pole der Batterie verbunden. Alsdann prüft man zunächst die Isolation des ganzen Systemes, indem man den nicht mit dem Elektroskope kommunizierenden Pol für einen Moment zur Erde ableitet. Die dem Elektroskop und der Batterie so erteilte statische Ladung muss minutenlang ohne wesentlichen Verlust gehalten werden. Bei dieser Isolationsprüfung empfiehlt es sich nur 150 Elemente in Anwendung zu bringen, da die Blättchen der meisten Elektroskope bereits bei Benutzung von circa 160 Elementen an die Metallbacken *F* anschlagen („durchschlagen“). Dies würde aber die Batterie, wenn auch nur momentan, in sich schliessen. Da die beschriebenen Elemente stark polarisierbar sind, so ist jeder Schluss der Batterie (auch durch den menschlichen Körper) durchaus zu vermeiden.

Sodann überzeugt man sich, dass je 50 Elemente der Batterie gleichwertig sind, indem man die von dieser Anzahl hervorgebrachten Divergenzen für alle fünf Abteilungen unter einander vergleicht. Stellen sich Unterschiede heraus, so sind diese wahrscheinlich darin begründet, dass einige Gläschen so gefüllt wurden, dass die Löthmasse am Zink in das Wasser eintaucht. Mittelst einer Pipette ist diesem Uebelstande leicht abzuhelpen.

Alsdann kalibriert man das Elektroskop, indem man von 25 zu 25 Elementen fortschreitet. Dies geschieht, indem man an der Erdleitung einen blanken Zinkstreifen befestigt und diesen während der positive Pol mit dem Elektroskope verbunden ist, in das 25 te, 50 te, 75 te u. s. w. Element der Batterie eintauchen lässt.

Ist die Zahl 150 erreicht, so ist es zweckmässig, von nun an die Elemente einzeln hinzuzukombinieren, um genau die Spannung festzustellen, die eben noch durch das Elektroskop messbar ist. Wiederholt man jetzt die Kalibrirung, indem man von höheren Spannungen zu tieferen absteigt, so wird man im allgemeinen etwas verschiedene Zahlen erhalten. Stellen sich grössere Unterschiede, die etwa 0.2 Skalenteile übersteigen, heraus, so hat ein dritter Versuch zu entscheiden, welche Zahl die richtige ist. Man muss sich im allgemeinen hüten, die Ablesung sofort nach dem Eintauchen der Erdleitung vorzunehmen. Der grosse innere Widerstand der Batterie bewirkt, dass der Maximalausschlag erst nach Ablauf von etwa einer Minute erreicht wird. Man erhält so ein Beobachtungsprotokoll folgender Art:

Anzahl der Elemente	Volt	Divergenz in Skalenteilen		Mittel
0	0	3.2	3.2	3.2
25	26.5	3.8	3.8	3.8
50	53.0	5.0	5.0	5.0
75	79.5	6.8	6.9	6.9
100	106.0	9.7	9.7	9.7
125	132.5	12.9	13.0	13.0
150	159.0	17.0	17.0	17.0
175	185.5	21.6	21.5	21.5

Die zwischenliegenden Werte werden durch lineare Interpolation gefunden. Bei häufigem Gebrauch des Elektroskopes kann dies Interpolieren recht lästig werden; wir möchten deshalb empfehlen, sich von vornherein eine ausführliche Kalibrierungstabelle fortschreitend von Zehntel zu Zehntel Skalenteilen zu entwerfen und in derselben die Zahlen in der Weise anzuordnen, wie folgendes Schema zeigt.

Ganze Skalenteile	Zehntel Skalenteile									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	—	—	0	4	9	13	18	22	27	29
4	31	34	36	39	41	44	46	48	50	52
5	53	55	57	58	60	61	62	63	65	66
6	67	69	70	71	73	74	75	76	78	80

Ist z. B. eine Divergenz von 6.5 Skalenteilen beobachtet worden, so entnimmt man der, zweckmässig auf ein Papptäfelchen aufgezogenen Tabelle direkt:

$$6.5 \text{ Skalenteile} = 74 \text{ Volt.}$$

B. Beobachtungen, betreffend die Zerstreuung der Elektrizität.

In Betreff der Zerstreuung der Elektrizität in der freien Atmosphäre können wir uns auf eigene Erfahrungen nur stützen, soweit es sich um die sogenannte lichtelektrische Entladung handelt. Hier wird die Beobachtung wesentlich dadurch erleichtert, dass diese Abnahme der Ladung eines elektrischen Körpers nur unter dem Einflusse des Lichtes und nur bei Anwendung negativer Elektrizität hervortritt, eine Kontrolle also jederzeit durch

Ausschluss des Lichtes oder durch Umkehrung des Zeichens der Ladung möglich ist. Bei der gewöhnlichen Zerstreuung, die zuerst besprochen werden soll, ist ein verschiedenes Verhalten gegenüber den beiden Elektrizitätsarten nicht festgestellt, eine Entscheidung darüber, ob der beobachtete Elektrizitätsverlust durch Abgabe an die Luft oder durch Leitung über die zur Isolation verwandten Stützen erfolgt sei, daher besonders schwierig. Wie schon anfangs bemerkt, sind die einzigen in der freien Luft ausgeführten Messungen dieser Art die von Herrn Linss mitgeteilten. Leider ist es nicht leicht möglich, die von ihm verwandte Methode so umzugestalten, dass man mit dem im vorigen beschriebenen kalibrierten Elektroskope ausreicht. Bei der grossen Wichtigkeit solcher Versuche würde es aber durchaus lohnend sein, die Beobachtungen nach dem von Herrn Linss ⁴²⁾ beschriebenen Verfahren einfach zu wiederholen. Wir möchten deshalb dasselbe hier kurz auseinandersetzen.

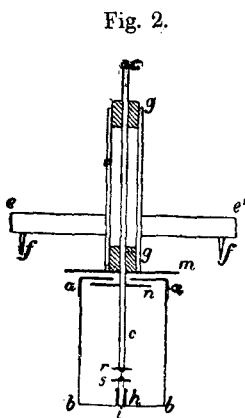
Herr Linss hat seine Beobachtungen mit Hilfe einer besonderen Art von Sinus-Elektrometer angestellt.

In einem auf einer horizontalen Kreisteilung drehbaren Gehäuse spielt eine Magnetnadel über einem mit einer Marke versehenen Spiegel. Die Schenkel der Nadel sind ungleich lang, durch Drehung des Gehäuses kann man erreichen, dass das kürzere Ende über der Marke des Spiegels entsteht. Ein isolierter Zylinder aus Kartonpapier (Fig. 2), der mit Stanniol überzogen ist, kann in den Deckel des Elektrometergehäuses vermittelt der an der Leiste *ee'* angebrachten Stifte *f* in stets genau derselben Lage eingesetzt werden, so dass er sich innerhalb des Gehäuses neben der nicht isolierten Magnetnadel befindet. Ist der Zylinder elektrisiert, so wird das längere Nadelende angezogen, durch Drehung des Gehäuses auf der Kreisteilung kann man das kürzere Ende wieder zum Einstehen über der Marke, also immer in dieselbe Lage zum Stanniolzylinder bringen. Bei verschiedenen Ladungen des letzteren sind verschiedene Drehungen erforderlich, aus deren Grösse sich dann, wie beim Sinus-Elektrometer, das Verhältniss der Ladungen ableiten lässt. Die Beobachtungen geschehen nun in der Weise, dass man dem isolierten Zylinder eine gewisse Ladung erteilt, diese durch das Elektrometer misst, dann denselben eine gewisse Zeit (4 bis 8 Minuten) in der Nähe der Hauswand der Luft exponiert und nun die Restladung wieder am Elektrometer beobachtet.

Bezeichnet Q_0 die Anfangs- Q die Endladung, t die Expositionsdauer, so ist der Zerstreuungskoeffizient:

$$\frac{\log. Q_0 - \log. Q}{t. \log. e.}$$

Zur Kontrolle belässt man nun den geladenen Zylinder längere Zeit im Elektrometer und beobachtet nach Ablauf derselben ebenfalls seine Restladung. Der so für das Innere des Elektrometergehäuses gefundene Zerstreuungskoeffizient muss sehr klein gegen den vorher gefundenen sein, nach den von Herrn Linss mitgeteilten Zahlen beträgt er etwa den hundertsten Teil des ersteren.



Grosse Sorgfalt ist auf die Isolation des Versuchszylinders zu verwenden. Ein starker Messingdraht *cc*, durch zwei Korkpropfen in der Glasröhre *gg* verschiebbar, geht durch eine Oeffnung der einen — wie bei einer Schachtel abnehmbaren — Grundfläche *aa* des Zylinders zentral frei hindurch und trägt an seinem Ende die besondere, an dem Drahtstück *i* in der Mitte *h* der anderen inneren Grundfläche (*bb*) befestigte Isoliervorrichtung (*rs*). Diese besteht aus zwei in ihrer Mitte durch ein aufge kittetes Stück einer Stecknadel verbundenen parallelen Schellackblättchen, die aus käuflichem Schellack ausgesucht sind. Dies System ist so zwischen den Messingdraht und der inneren Grundfläche des Zylinders eingeschaltet, dass das Stecknadelstück in die Verlängerung des Drahtes, also die Axe des Zylinders fällt. (Vielleicht liesse sich mit gleichem Erfolge die Isolation durch ein mit einem leichten Ueberzuge von Schellackfirniss bedecktes dünnes Ebonitstäbchen erreichen. Neuerdings sind die von Herrn Boys hergestellten Stäbchen aus geschmolzenem Quarz wegen ihrer isolierenden Eigenschaft sehr gerühmt, es würde sich verlohnen, eine Probe mit diesen zu machen.) *m* und *n* sind zwei parallele Messingplatten, durch welche der Austausch der Luft nach dem Innern des Zylinders nach Möglichkeit beschränkt wird.

Die hier geschilderte Methode kann, wenn mit Sorgfalt angewandt, sehr gute Resultate geben. Die eigentlichen Ablesungen werden in aller Bequemlichkeit im Zimmer ausgeführt, Verluste durch Drahtleitungen, Fehler durch Aenderungen der Kapazität der Apparate sind von vornherein ausgeschlossen. Das Bedenken, dass eine grössere Zerstreuung der Elektrizität in freier Luft vielleicht durch eine Beeinträchtigung der Isolation des Zylinders bewirkt sei, lässt sich durch genügend rasche Vornahme der Kontrolbeachtung und durch Abänderung der Expositionszeiten beseitigen.

Besonders wertvoll würden solche Beobachtungen sein, wenn sie an ruhigen Tagen von konstantem Wettercharakter, am besten also bei wolkenlosem Himmel in etwa stündlichen Intervallen angestellt und mindestens ein Jahr lang fortgesetzt würden, man hätte dann Anhaltspunkte für die Aufstellung der täglichen und jährlichen Periode des Zerstreuungskoeffizienten. Die Existenz der letzteren tritt aus den Beobachtungen des Herrn Linss schon mit vollkommener Deutlichkeit zu Tage.

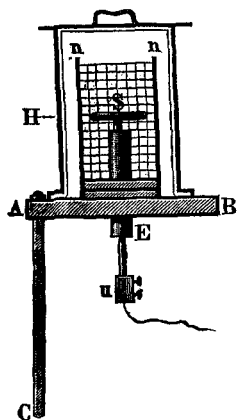
Ferner empfiehlt es sich, zur Kontrolle Messungen mit in weiten Grenzen verschiedenen Anfangsladungen vorzunehmen; es ist nicht ohne weiteres sicher, dass die Zerstreuung stets einen von der Grösse der Ladung unabhängigen Bruchteil derselben beträgt.*) Auch ein Abwechseln mit positiven und negativen Elektrisierungen ist zur Sicherheit hin und wieder vorzunehmen. Nach Versuchen, die wir selbst bei abnorm hohen Beträgen des atmosphärischen Potentialgefälles angestellt haben, ergab sich, dass bei positiver Luftelektrizität eine negative, bei negativer eine positive Ladung am leichtesten zerstreut wird. Stellen sich solche Unterschiede deutlich heraus, so bleibt nichts übrig, als den Probeylinder innerhalb eines zur Erde abgeleiteten Drahtgeflechtes zu exponieren. Zweck-

*) Für sehr schwache Ladungen, deren Spannung der der Erdelektrizität nahe kommt, reicht die Empfindlichkeit des Apparates nicht mehr aus. Eine für diesen Zweck geeignete Methode muss noch ausgebildet werden, als geeignetes Messinstrument wäre ein Hankelsches Goldblatt- oder ein Thomsonsches Quadrantelektrometer zu empfehlen.

mässiger Weise vermeidet man, dass während der Exposition der Zylinder von Sonnenstrahlen getroffen wird, es ist nämlich nicht unwahrscheinlich, dass Stanniolfächen im Sonnenlichte Spuren lichtelektrischer Entladung zeigen. Schliesslich würde sich bei Verwendung von Versuchszylindern aus verschiedenartigem, auch nichtmetallischem, Materiale eine Abhängigkeit der Zerstreuung von der Natur der elektrischen Oberfläche verraten.

Beobachtungen über die Zerstreuung der Elektrizität unter dem Einflusse des Sonnen- und Tageslichts werden am bequemsten vermittelt des oben beschriebenen Exner'schen calibrierten Elektroskops ausgeführt. Die Vorrichtung, welche wir zu diesem Zwecke verwenden, ist folgende. Auf einem Tische in der Nähe eines schrägen nach S. gelegenen Fensters unter dem Hausdache ist das Elektroskop in unveränderlicher Lage aufgestellt.

Fig. 3.



Unmittelbar unter dem Fenster steht ein Stativ, an diesem befestigt kann der in nebenstehender Figur dargestellte Apparat aus der Fensteröffnung ins Freie gehalten werden. *AB* ist ein kreisförmiger Teller aus Eisenblech von 15 cm Durchmesser, *C* ein daran festgenieteter starker Eisenstab, der mittelst einer Muffe von dem Stativ getragen wird. Der Teller *AB* ist in der Mitte durchbohrt und die Oeffnung durch ein mit dünnem Schellackfirniss bestrichenes Ebonitstäbchen *E* ausgefüllt. Durch dieses lässt sich ein Stahlstab bequem hindurchführen, dessen oberes Ende ein kleines Eisenschälchen *S* trägt. *E* ist konzentrisch umgeben von zwei auf *AB* festgenieteten kreisförmigen Streifen aus Eisenblech. In den inneren wird der oben offene Zylinder aus Eisendrahtgeflecht *nm* geschoben, der äussere dient als Führung für den glockenförmigen eisernen Aufsatz *H*. Die Schale *S* darf den umgebenden Drahtzylinder nicht

berühren. Durch eine bei *u* befestigte Klemme wird die Schale *S* mit dem Exner'schen Elektroskope leitend verbunden, während das Gehäuse desselben mit dem Stabe *C* und der Erde durch einen Draht kommuniziert. Das Drahtgeflecht *nm* dient dazu, die Schale bei abgehobener Glocke der Influenz des elektrischen Feldes der Erde zu entziehen.

Soll ein Versuch im Sonnen- oder Tageslichte gemacht werden, so füllt man die Schale *S* mit der zu untersuchenden Substanz und setzt die Glocke *H* auf. An dem von *u* aus zum Elektroskope führenden Drahte wird zweckmässig ein Stück Leinenfaden befestigt, das frei herabhängt. Um den Apparat zu laden, berührt man diesen Faden mit einer geriebenen Siegellackstange und wiederholt dies Verfahren, bis die Blättchen des Elektroskopes die genügende Divergenz zeigen. Der Leinenfaden verhindert, dass die Ladung stossweise erfolgt und die Blättchen gewaltsam gegen die Metallbacken anschlagen. Durch leise Berührung des Fadens mit dem Finger kann man nach Bedarf dem Elektroskope etwas von seiner Ladung entziehen und es bei einer bestimmten Divergenz einstellen. Diese Ladung wird nun (nach Entfernung der Siegellackstange) abgelesen. Dann gibt man dem Lichte durch Abheben der Glocke eine gewisse Zeit (mehrere Minuten) Zutritt zu der auf der Schale befindlichen Substanz, setzt die Glocke wieder auf und liest die noch vorhandene Ladung ab. Alsdann wiederholt man denselben Versuch, indem man nun den Apparat geschlossen lässt. Zeigt sich in dem beobachteten Verluste an Spannung (der im letzten

Falle klein sein muss) kein deutlicher Unterschied, so reicht die beschriebene Methode nicht aus, um an der betreffenden Substanz eine lichtelektrische Wirkung nachzuweisen.

Findet man dagegen eine entschieden stärkere Zerstreuung bei abgehobener Glocke, so stellt man nun den ganzen Versuch von neuem an, indem man statt der negativen Anfangsladung positive verwendet. Ist jetzt die Abnahme unzweifelhaft kleiner, als im ersten Falle, so hat man wahrscheinlich einen lichtelektrisch wirksamen Stoff vor sich. Die Entscheidung wird dadurch getroffen, dass man den Draht-Zylinder *nn* entfernt und durch ein Rohr aus Eisenblech von denselben Dimensionen ersetzt, dessen obere Oeffnung durch eine aufgekittete Platte von klarem Gyps (Marienglas) verschlossen ist. (Glas als Verschluss ist nicht brauchbar, da es die elektrisch wirksamsten Lichtstrahlen absorbiert.) Tritt auch jetzt noch bei abgenommener Glocke eine entschieden stärkere Zerstreuung der elektrischen Ladung als bei geschlossener ein, so ist man berechtigt, diese der Wirkung des Lichtes zuzuschreiben. Die letzte Methode allein zu benutzen, ist deshalb nicht zu empfehlen, weil in das durch die Gypsplatte verschlossene Eisenrohr weniger Licht, als durch das offene Drahtnetz eindringt, geringe Wirkungen also von vornherein übersehen werden könnten. Versuche mit positiven Ladungen haben bis jetzt bei keiner Substanz eine zerstreue Wirkung des Sonnenlichts erkennen lassen, die Möglichkeit einer solchen kann natürlich nicht in Abrede gestellt werden, es sind deshalb darauf bezügliche Untersuchungen nicht ohne Bedeutung.

Um die lichtelektrische Entladung überhaupt kennen zu lernen, verwendet man am besten blankgeputzte trockene Flächen von Zink, Aluminium, Magnesium oder von Zink-amalgam, als wirksamer nichtmetallischer Körper ist die bekannte phosphoreszierende Balmain'sche Farbe zu nennen. Alle diese Stoffe verlieren eine negative Ladung bei Bestrahlung durch Sonnenlicht (das nicht durch Glas gegangen ist) auffallend schneller, als im Dunkeln. Metalle verwendet man am bequemsten in Form von Kugeln oder Drähten, die man an Stelle der Eisenschale *S* in den Apparat einführt. Bei Eisenflächen haben wir keine Wirkung wahrgenommen, daher dies Metall zur Konstruktion des Apparates verwandt. Zugleich hat man dadurch den Vorteil, Versuche mit Quecksilber und Amalgamen ohne Schwierigkeiten vornehmen zu können.

Die hier geschilderten lichtelektrischen Beobachtungen sind qualitativer Art, es handelt sich zunächst nur darum, die Reihe der bekannten lichtelektrisch wirksamen Stoffe zu erweitern. Für quantitative Vergleiche wären besondere Vorkehrungen nötig, vor allen müsste auf den mit der Aenderung der Sonnenhöhe verbundenen Wechsel der Intensität des Lichtes Rücksicht genommen werden.

Am geeignetsten für lichtelektrische Versuche sind die Mittagsstunden der Monate Mai, Juni, Juli, August, September.

Da sowohl der Zerstreuungskoeffizient der Elektrizität, wie auch das Potentialgefälle von dem Wasserdampfgehalte der Luft abhängig erscheinen, so ist man gezwungen, bei beiden Arten der Beobachtungen letzteren neben den elektrischen Messungen zu verzeichnen. Häufig ist es auch bei der Bearbeitung des gewonnenen Materials von Wert noch gewisse andere meteorologische Elemente ausser dem Dampfdruck zur Hand zu haben, so namentlich die mittlere Temperatur, Bewölkung, Wind-Richtung und -Stärke. Existiert in dem

Beobachtungsorte selbst oder in seiner Nachbarschaft eine meteorologische Station, so entnimmt man von dieser die oben bezeichneten Daten. Im anderen Falle bestimmt man wenigstens dreimal täglich (7a, 2p, 9p) mittelst des Psychrometers den Dampfdruck und beschränke sich auf die Notierung etwaiger Anomalien in dem Charakter der herrschenden Witterung.

C. Beobachtungen des Potentialgefälles an normalen Tagen.

Handelt es sich um Messung des Potentialgefälles in absolutem Maasse bei normalem, d. h. wolkenlosem, nahezu windstillem Wetter, so kann in doppelter Weise beobachtet werden.

Das direkte Verfahren besteht darin, dass man sich auf ein vollkommen freies Feld begiebt und hier die Potentialdifferenz eines in bekannter Höhe über dem Boden aufgestellten Kollektors gegen die Erde mittelst des Exner'schen Elektroskopes bestimmt. Zur Erleichterung derartiger Messungen gibt Herr Exner⁴¹⁾ seinem Elektroskope einen Halter bei, der das Aussehen eines Spazierstockes hat. Der Griff ist abschraubbar und aus dem Hohlraum des Stockes kann ein aus zwei Teilen bestehender Ebonitstab hervorgezogen werden. Je nachdem man den letzteren oder einen seiner Teile direkt in den Erdboden einsteckt, oder ihn auf dem Stocke befestigt, lassen sich isolierende Stative herstellen von folgenden Höhen :

30, 80, 110, 155 Cm.

Auf das eine Ende des Ebonitstabes kann man eine durch einen zylindrischen Metallschirm vor Luftzug geschützte Stearinkerze aufsetzen, die als Kollektor dient. Die Zuleitung zum Elektroskop vermittelt ein in das Innere der Flamme hineinragender Platindraht.

Bei Ausführung derartiger Messungen bemerkt man bald, dass es sich durchaus nicht bewerkstelligen lässt, in immer derselben Höhe über dem Erdboden zu messen. An warmen Sommertagen werden in etwa 1 Meter Höhe des Kollektors über dem Erdboden kaum Anzeichen einer elektrischen Spannung vorhanden sein, während an kalten, klaren Wintertagen bei der gleichen Höhe die Blättchen des Elektroskopes in schnellem Takte durchschlagen.

Da das elektrische Feld der Erde ein homogenes ist, so kann diesem Uebelstande dadurch abgeholfen werden, dass man die Höhe des Stativs so weit vergrößert oder verringert, bis ein bequemes Messen mit dem Exner'schen Elektroskope möglich ist und dann die Höhe des Kollektors über dem Erdboden feststellt.

Die Zunahme der Spannung ist der Entfernung des letzteren von der Erdoberfläche proportional, daher kann man stets aus dieser und der in Volt gemessenen elektrischen Ladung des Elektroskopes den beobachteten Potentialwert auf $\frac{\text{Volt}}{\text{Meter}}$ d. h. also auf absolutes Maass reduzieren. Weder die Isolation des Elektroskopes noch die des Ebonitstabes bereitet, solange man im Sonnenlichte arbeitet, irgend welche Schwierigkeiten. Ist bei abendlichen Beobachtungen während Thaufalls der Verdacht begründet, dass die Isolationsfähigkeit der Apparate gelitten habe, so löscht man die Flamme und erteilt dem ganzen System mit Hilfe einer Zambonischen Säule (vergl. pag. 14) eine künstliche Ladung. Wird diese nicht gehalten, so erwärme man sowohl den Ebonitstab, wie auch den Ebonitpfropf

des Elektroskopes einen Moment über der Kerze und lasse die Messung so schnell als möglich dem vorausgegangenen Erwärmen folgen.

Auf eine zweite, weit bedenklichere Fehlerquelle möchten wir nicht unterlassen hinzuweisen. Das isolierende Statif wird, vornehmlich wenn es frisch mit Schellackfirniss überzogen ist, an trockenen Tagen bei der geringsten Berührung negativ elektrisch und wirkt so auf den Kollektor in entgegengesetztem Sinne, wie das positive Potentialgefälle ein. Man erhält mithin viel zu geringe, oder wohl gar negative Werte des letzteren. Es ist deshalb dringend notwendig, den Ebonitstab, bevor man die Kerze aufsteckt, einige Male schnell durch die Flamme zu ziehen, um ihn vollständig zu entelektrisieren.

Handelt es sich nur um vereinzelte derartige Messungen, so ist die Exner'sche Kerze empfehlenswert; misst man aber im Laufe eines Tages des öfteren, so wird die fortwährende Erneuerung des Lichtchens, sowie die Beschmutzung des Statifs durch das abtropfende Stearin zumal bei Wind recht lästig. In diesem Falle thut man wohl, den Exner'schen Kollektor durch eine kleine, auf das Stativ passende, hartgelöthete, metallene Petroleumlampe zu ersetzen, deren Flamme ebenfalls durch einen einseitig aufgeschlitzten Metallzylinder vor Wind geschützt ist. Reguliert man die Flamme so, dass die Spitze aus diesem etwas hervorragt, so hat man noch den Vorteil, jede Messung bei nahezu gleicher Flammenlänge vornehmen zu können.

Ein Messen mit weit hervorragender, flackernder Flamme ist durchaus zu vermeiden.

Derartige Lampen empfehlen sich, zumal sie auch gegen Wind weit widerstandsfähiger sind, da zur Verwendung, wo der zu den elektrischen Messungen ausersehne Platz nicht weit von der Wohnung des Beobachters abliegt. Für grösseren Transport, also z. B. zum Mitführen auf Reisen, bei Bergbesteigungen etc. sind sie weniger geeignet. Wir haben nach dieser Methode eine grosse Zahl von Messungen durchführen können, da unsere Wohnung unmittelbar an dem Rande einer etwa $\frac{1}{2}$ Kilometer breiten und 4 Kilometer langen ebenen Wiese gelegen ist.

Schliesslich führen wir noch zwei Beobachtungsprotokolle, welche den Verlauf einer derartigen direkten Bestimmung des Potentialgefälles in absolutem Maasse kennzeichnen sollen, hier an:

1) Messung auf der Wiese am 25. VIII. 1887. $4\frac{3}{4}$ p. Temperatur: 26.6° C; Dampfdruck = 9,4 mm; Wind: SE; Bewölkung: 0.3.

Höhe:	Divergenzen			Mittel:	Volt	$\frac{d \ v}{d \ n}$
220 cm	13.5	11.5	11.5	12.2	160	73
140 cm	6.5	6.1	6.5	6.4	108	77
						Mittel: 75

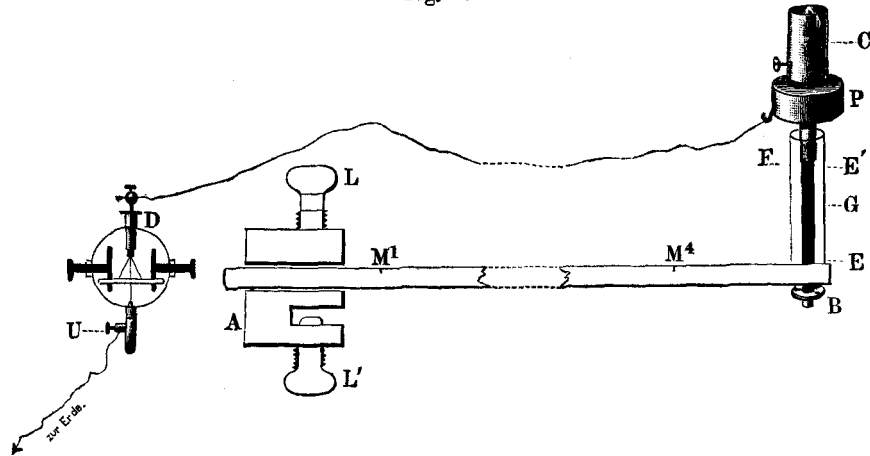
2) Messung auf der Wiese am 1. I. 1888. 3 p. Temperatur: -6.5° C; Dampfdruck: 2.3 mm; Wind: S; Bewölkung: 0.0.

Höhe:	Divergenzen		Mittel:	Volt	$\frac{d \ v}{d \ n}$
20 cm	12.5	12.5	12.5	162	810

Bei weniger günstiger Lage des Beobachtungsortes wird man gezwungen, ein indirektes Verfahren zur Ermittlung des Potentialgefälles einzuschlagen.

Hierbei lassen sich die betreffenden Operationen vom Fenster aus vornehmen und in wenigen Minuten erledigen, so dass man selbst zu stündlichen Messungen schreiten kann. Seit mehr denn Jahresfrist verwenden wir ihrer grossen Bequemlichkeit wegen fast ausschliesslich diese Methode.!

Fig. 4.



Der schwere, eichene Klotz *A* (Fig. 4), der mittelst der Schraube *L'* an der Fensterbank befestigt werden kann, trägt den verschiebbaren, durch *L* in beliebiger Lage feststellbaren, vierkantigen Holzstab *AB* von 2 Meter Länge, an dessen einem Ende ein Ebonitstab *EE'* vertikal eingefügt ist. Letzterer ist von einem geräumigen Glasrohr *g* umgeben, das ihn vor unbeabsichtigten Berührungen beim Aufstellen des Apparates schützt. Auf den Ebonitstab, dessen oberes Ende eine aufgekittete Metallkappe trägt, ist die mit Schutz-Zylinder *C* versehene Lampe *P* mittelst einer metallenen Hülse aufsteckbar. Ein mit der Lampe verlötheter Draht stellt die leitende Verbindung zwischen ersterer und dem im Zimmer aufgestellten Exner'schen Elektroskope *D* her. Bei diesem ist für eine möglichst vollkommene Ableitung zur Erde dadurch zu sorgen, dass man die Klemme *U* leitend mit der Gasleitung des Hauses oder mit der Erde verbindet.

Auf der Stange *AB* sind vier Marken *M*₁ bis *M*₄ angebracht, durch welche die Entfernung der Lampe *P* von der Wand des Hauses gemessen wird. Je kleiner diese Entfernung, um so geringer ist auch die am Elektroskope beobachtete Divergenz. Die Verschiebbarkeit der Lampe setzt den Beobachter, wenigstens bei einer einigermaassen frei gelegenen Wohnung stets in den Stand, ihr eine solche Stellung zu geben, dass ein deutlich messbarer Ausschlag am Exner'schen Elektroskope erfolgt. Man kann nun sämtliche Ablesungen leicht auf einem bestimmten Ort der Lampe (etwa Marke *M*₁) einheitlich reduzieren, da die betreffenden Reduktionsfaktoren bei freier Lage sehr nahe der Entfernung der Lampe von der Hauswand umgekehrt proportional sind. Erst wenn diese sehr klein wird, finden sich erheblichere Abweichungen an diesem Gesetze. Wird man an kalten Frosttagen, an denen der Wert für das Potentialgefälle ein ausserordentlich hoher

zu sein pflegt, gezwungen, unter Verwendung der äussersten Marke (M_4) zu messen, so bestimmt man besser an einem Tage, an welchem der Wert des Potentialgefälles innerhalb passender Grenzen liegt, den Reduktionsfaktor für diese Marke durch direkten experimentellen Vergleich.

Beobachtungen nach dieser Methode reichen ohne Weiteres aus, wenn es sich lediglich um die Feststellung der täglichen Schwankungen des Potentialgefälles an normalen Tagen handelt, nicht aber, wenn allgemein vergleichbare Werte gewonnen werden sollen; alsdann erübrigt es noch, die für eine bestimmte Stellung der Lampe ermittelten Werte auf freies Feld zu reduzieren.

Sind zwei Beobachter vorhanden, so ist die Ermittlung des Reduktionsfaktors sehr einfach: der eine bestimmt den Wert des Potentialgefälles nach der oben angegebenen direkten Methode, während ein zweiter genau gleichzeitig die Messung am Fenster vornimmt. Die in einem verabredeten Zeitraume gewonnenen Mittelwerte beider Beobachter geben durch ihr Verhältnis die Zahl, mit welcher man die nach der indirekten Methode gefundenen Werte zu multiplizieren hat, um sie der auf freiem Felde in ein Meter Höhe bestehenden Potentialdifferenz gegen die Erde gleich zu machen. Es ist geraten, diese Bestimmung des Reduktionsfaktors einige Male vorzunehmen und aus den einzelnen, nahe bei einander liegenden Werten das Mittel zu bilden.

Zur Not kann auch ein Beobachter allein den Faktor ermitteln, wenn er eine Tageszeit wählt, in welcher erfahrungsgemäss das Potentialgefälle für seinen Wohnort nahezu konstant ist. Der Messung auf freiem Felde hat dann eine Bestimmung nach der indirekten Methode unmittelbar voranzugehen und nachzufolgen. Ergeben die beiden letzterwähnten Messungen sehr verschiedene Werte für $\frac{d \ v}{d \ n}$, ist also das Potentialgefälle nicht annähernd konstant geblieben, so ist die Bestimmung an einem anderen Tage zu wiederholen.

Wir pflegen die elektrischen Beobachtungen nebst den notwendigen meteorologischen Daten (vergl. pag. 21) nach Ablauf jeden Monats in eine Tabelle (siehe folgende Seite) übersichtlich einzutragen.

Nach Ablauf eines Jahres ist man so leicht im Stande, das gewonnene Material unter Berücksichtigung des von der Anzahl der Einzelbeobachtungen abhängigen Gewichtes der Mittelwerte nach den im allgemeinen Teile angegebenen Gesichtspunkten auszuwerten.

Wie dort bemerkt wurde, sind die in gebirgigem Terrain, also in Thälern oder auf Bergen, nach den soeben beschriebenen Methoden bestimmten Potentialgefälle mit den in der Ebene erhaltenen nicht vergleichbar; in Thälern fallen die Werte zu niedrig, auf Bergen zu hoch aus.

Der erstere Umstand kann zu experimentellen Schwierigkeiten dadurch führen, dass die Empfindlichkeit des Instrumentes für so schwache Spannungen an einem beliebigen Standpunkte nicht mehr ausreicht. Man hat alsdann einen möglichst frei — am besten auf offener Wiese gelegenen Punkt — zu wählen und die aufsaugende Flamme recht hoch

Potentialmessungen im März 1890.

Datum	7a	8a	9a	10a	11a	12	1p	2p	3p	4p	5p	6p	7p	8p	9p	10p	$\frac{d v}{d n}$ Tages- mittel	Tem- pera- tur	Dampfdr.	Bewölk.	Anzahl d. Beobacht.	Bemerkungen.	
1	462	342			432	760			627	271	595	275					493	-9.3	1.5	4.3	8	1—2p und 5—9p trübe, sonst heiter.	
2		258	320	409	516	349	220	249									326	-7.8	1.7	5.0	7	Bis 2 p normal, dann heiter.	
4									428	287	202	275	230	192	317	415	449	316	-8.3	1.8	1.0	9	Normal.
13						178	220	216	162		184	244	244				207	+6.1	6.0	4.3	7	Von 2—3p einzelne Wolk., sonst norm.	
15	159	153				226	305	344	305	261	375						303	+8.9	6.5	1.0	8	8—11a trübe, dann heiter, doch Cirri.	
16		297	320	230	239												271	+7.9	5.9	4.3	4	Viel Cirri u. Dunst; von 12 m trübe.	
20	140	197	216			176	197	174				162					187	+10.0	6.3	5.0	7	Normaler Morgen.	
29	155	155	155	156	104	114	99	199	126	81	99	85	81	128	79	111	111	+15.7	8.0	2.3	16	Wolkenlos, doch starker Wind.	
30	10	64	83	153	152	115	105	72	75	79	70	66	65			117	95	+10.2	5.0	1.7	14	" " " "	

über dem Erdboden anzubringen. Auf Bergen tritt die entgegengesetzte Schwierigkeit auf. Hier pflegt bei Beobachtungen auf der Spitze selbst die Empfindlichkeit des Elektroskopes auch bei der geringsten Erhebung der Flamme über dem Boden überschritten zu sein. Dazu kommt noch, dass die Flamme durch den an solchen Orten meist herrschenden Wind hin- und hergeworfen wird, ja öfters überhaupt nicht brennend erhalten werden kann. Wassertropfkollektoren sind nicht viel brauchbarer, auch hier wird die Auflösungsstelle des Strahles durch den Wind fortwährend geändert, der hierdurch entstehende Fehler kann, zumal da der Tropfapparat dicht über dem Boden stehen muss, sehr gross werden.

Wir möchten deshalb hier eine von uns des öfteren auf Alpengipfeln mit dem besten Erfolge angewandte, einfache Methode in Vorschlag bringen. Sie gründet sich auf die Thatsache, dass frisch abgeschmirgelte Aluminium-, Magnesium- oder Zink-Drähte im Sonnenlichte der positiven Elektrizität gegenüber wie Kollektoren wirken. Dies beruht auf der im ersten Abschnitt beschriebenen lichtelektrischen Entladung, durch welche die negative, durch das elektrische Feld der Erde induzierte Elektrizität, aus der belichteten Metallfläche entweicht.

Biegt man sich an einem sonnigen Tage mit dem Exner'schen Elektroskop auf freies Feld, schraubt in den Knopf desselben einen blankgeschmirgelten Aluminiumdraht und hält das Elektroskop frei empor, so divergieren die Blättchen sofort mit positiver Elektrizität. (Man überzeugt sich leicht, dass Drähte anderer Metalle, auf welche das Licht nicht entladend wirkt, die gleiche Erscheinung nicht zeigen. Vergeblich wird man sich bemühen, mit Hilfe eines Kupfer- oder Platindrahtes irgend eine dauernde Ladung des Elektroskopes

zu erzielen.) Befestigt man nun einen blankgeschmirgelten Aluminiumdraht von circa 20 cm Länge und 1.5 mm Dicke an dem Knopfe des Elektroskopes, einen anderen an dem mittelst des Ebonitstabes isolierten Gehäuse und zwar so, dass sich der letztere Draht eine gemessene Anzahl von Centimeter (etwa 10) unter dem ersteren befindet, so werden durch den oberen die Aluminiumblättchen auf das Potential derjenigen Niveaufläche geladen, in welcher derselbe liegt, das Gehäuse aber durch den unteren auf das der 10 cm tiefer liegenden Niveaufläche. Der Ausschlag der Blättchen entspricht also der Potentialdifferenz zweier Niveauflächen im Abstände 0.1 der Längeneinheit. Ist er gleich wertig a Volt, so ist:

$$\frac{d v}{d n} = 10 a$$

Vor der Messung hat man die Blättchen des Elektroskopes und das Gehäuse einen Moment leitend zu verbinden, um so beide auf gleiches Potential zu bringen. Es dürfte wohl kaum vorkommen, dass der Potentialunterschied für 0, 1 m die obere Grenze des Bereiches des Elektroskops übersteigt. Natürlich kann diese Methode nur am hellen Tage und bei positivem Potentialgefälle angewandt werden. Ein auf gleichem Prinzip beruhendes Verfahren ist von Herrn F. Exner verwendet worden, der statt der lichtempfindlichen Drähte Flammen benutzte. Hierbei treten aber die obengenannten Uebelstände auf.

Weit wichtiger als die Ermittlung des numerischen Betrages des Potentialgefälles im Gebirge ist die Feststellung der täglichen Variation des letzteren. Die hierzu erforderlichen, von Stunde zu Stunde fortlaufenden Messungen können nur an solchen Orten mit Erfolg unternommen werden, an denen überhaupt ein längerer Aufenthalt möglich ist, d. h., an denen sich bewohnte Gebäude vorfinden. Dann aber kann man genau dieselbe indirekte Methode, wie in der Ebene verwenden, d. h., die Messungen am geöffneten Fenster vornehmen. Die Entfernung der aufsaugenden Vorrichtung von der Hauswand muss der Stärke des elektrischen Feldes und der Empfindlichkeit des Elektroskopes angepasst werden. Auf Berggipfeln wendet man des Windes wegen zweckmässig statt der Flammen ein kleines, etwa $\frac{1}{4}$ Liter Wasser fassendes Tropfgefäss mit metallener Ausflussöffnung an. Dass auf hohen Bergen auch die Dellmann'sche Methode, das Potentialgefälle mittelst eines isolierten, beweglichen, in stets derselben Höhe über dem Erdboden ableitend berührten Konduktors zu bestimmen, mit Vorteil auch unter Benutzung des Exner'schen Elektroskopes in Anwendung gebracht werden kann, möge hier nur angedeutet werden.

Schwieriger als die bislang geschilderten Potentialbestimmungen und zudem für einen einzelnen Beobachter kaum durchführbar, sind Versuche, welche die Ermittlung des Potentialgefälles in beträchtlicher Höhe über der Erdoberfläche mittelst fliegender Drachen oder gefesselter und freier Ballons zum Ziele haben. Da uns auf diesem Gebiete eine genügende Erfahrung nicht zu Gebote steht, so möge es erlaubt sein, hier auf die von Herrn F. Exner⁴⁴⁾ und L. Weber^{45 a)} verwandten Methoden zu verweisen.

D. Beobachtungen der Störungen des Potentialgefälles während des Falles von Niederschlägen.

Wie im ersten Abschnitte bemerkt wurde, ist es von Interesse, festzustellen, welche Störungen das normale Potentialgefälle an der Erdoberfläche

- 1) beim Herannahen eines Niederschlagsgebietes,
- 2) innerhalb desselben,
- 3) beim Abziehen der Wolkenmassen

erleidet.

Beobachtungen dieser Art sind nicht so einfach, wie sie scheinen mögen. Wählt man eigentliche Gewitter, also von Blitzentladungen begleitete Niederschlagsfälle, so kann man ohne Verwendung komplizierter Methoden mit einiger Sicherheit nur die Fragen 1 und 3 beantworten. Während das Gewitter den Beobachtungsort passiert, ist das Vorzeichen des Potentials in stetem Wechsel begriffen. Zweckmässig beschränkt man sich daher für den Anfang auf zwei Arten besonders einfacher Erscheinungen. Man kann zunächst ausgedehnte Niederschlagsgebiete — bei flüssiger Niederschlagsform Landregen genannt — untersuchen und Sinn und Zeichenwechsel des Potentialgefälles unter gleichzeitiger Beobachtung der Wechsel im Charakter des Niederschlags feststellen. Solche Beobachtungen, die allerdings viel Zeit und Geduld erfordern, können neue Gesichtspunkte für die Theorie der Wolkenelektrizität liefern; zuweilen sind Wechsel im Sinne des Potentialgefälles mit deutlichen Aenderungen in der Art der Niederschläge (besonders bei verschiedenen Formen des Schnees, bei abwechselnd starkem und schwachem Regen, beim Uebergang von Regen in Schnee und umgekehrt) unverkennbar; es handelt sich eben darum, eine Regel von allgemeiner Gültigkeit zu finden. Bequemer zu beobachten sind die schnell vorüberziehenden Böen, wie sie das sogenannte Aprilwetter kennzeichnen. Vor und nach denselben pflegt heiterer, oft fast wolkenloser Himmel zu herrschen. Eine Wolkenbank am Horizonte an der Stelle, aus der der Wind bläst, zeigt ihr Herannahen schon an, bevor sich erhebliche elektrische Störungen bemerklich machen; der Beobachter wird bei einiger Aufmerksamkeit nicht überrascht. Hier sind die drei oben genannten Phasen leicht zu scheiden; die Beobachtung beginnt beim Herannahen der Böe, sie schliesst, wenn sie in entschiedenem Abzuge begriffen, das Zenith also wieder wolkenfrei geworden ist. Doch ist zu derartigen Messungen ein Beobachtungsort erforderlich, der eine freie Rundschau nach allen Seiten gestattet. Wolken, aus denen Regen, Schnee oder Graupeln herabfallen, lassen sich mit Sicherheit durch die an den unteren Wolkengrenzen herabhängenden Niederschlagsstreifen erkennen. Hierzu sind allerdings scharfe und geübte Augen nötig.

Zu den elektrischen Zeichenbestimmungen während des Falles von Niederschlägen verwendet man zweckmässig einen im Zimmer isoliert aufgestellten Tropfensammler mit 50 bis 60 cm langer Ausflussröhre und fein durchbohrter, abschraubbarer Ausflussspitze. Letztere lässt man nur 1 bis 2 cm über die Fensterbrüstung hervorragen, um bei den meist sehr hohen Spannungen das Durchschlagen der Blättchen des mit dem Kollektor leitend verbundenen Exner'schen Elektroskopes zu verhüten. Es sei bemerkt, dass, falls man im Besitze des weiter unten (Fig. 5) beschriebenen Elektroskopes ist, das Exner'sche mit Vorteil durch dies Instrument ersetzt werden kann.

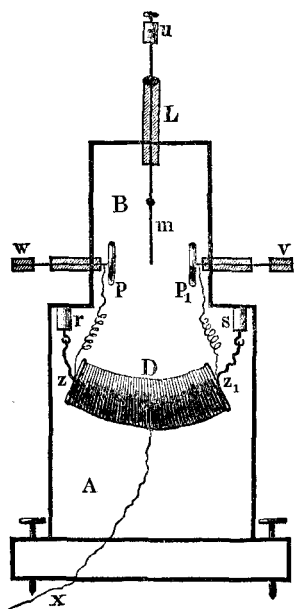
Weit erstrebenswerter und wertvoller sind aber die ungleich schwierigeren Beobachtungen, bei denen die während des Falles der Niederschläge auftretenden elektrischen Störungen nicht nur ihrer Anzahl und dem Sinne nach festgelegt werden, sondern bei denen auch ihr Betrag, wenn auch nicht in absolutem, so doch wenigstens in relativem Maasse ermittelt wird.

Soviel uns bekannt, sind solche Beobachtungen bislang nur von Herrn L. Weber^{43b)} angestellt worden. Die von letzterem in Anwendung gebrachte Methode setzt aber Hilfsmittel voraus, die wohl nur in grösseren physikalischen Instituten anzutreffen sind.

Bei Verwendung des Exner'schen Elektroskopes zu derartigen Messungen hat man mit zwei erheblichen Uebelständen zu kämpfen. Nämlich erstens ist dieses Instrument gegenüber den hohen bei Gewittern auftretenden Potentialdifferenzen viel zu empfindlich und zweitens vermag man den jähen Wechseln im Vorzeichen des Potentialgefälles, zumal wenn in der Nähe des Beobachtungsortes Blitzentladungen vor sich gehen, nicht zu folgen.

Dem ersteren kann dadurch abgeholfen werden, dass man dem Elektroskope durch einen Halbleiter von grossem Widerstande einen bestimmten Bruchtheil der elektrischen Ladung entzieht, dem zweiten dadurch, dass man die Auswertung der Potentiale und die Zeichenbestimmungen an zwei gesonderten Instrumenten vornimmt.

Fig. 5.

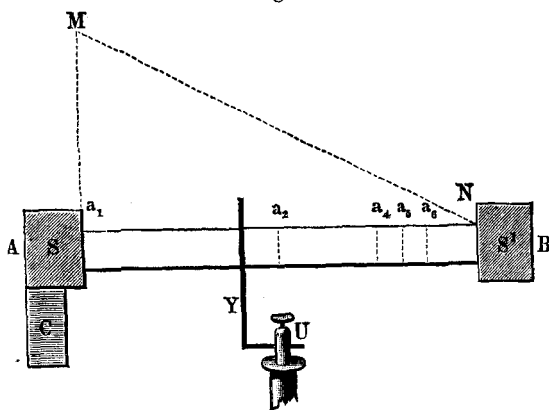


Man wird so gezwungen, neben dem Exner'schen noch ein zweites Elektroskop, lediglich zu Zeichenbestimmungen dienend, zur Hand zu haben. Wir verwenden dazu das in Fig. 5 dargestellte den vorliegenden Zwecken angepasste Bohnenberger'sche Elektroskop.

Auf einem durch eine Thür verschliessbaren Holzkasten A ist ein zweiter kleinerer B aufgesetzt, dessen Vorder- und Rückseite durch Glasplatten gebildet werden. In passende Oeffnungen der Seitenwandungen sind zwei mit Schellackfirniss überzogene durchbohrte Ebonitstäbe eingefügt, in welchen starke Messingdrähte, die bei P und P₁ zwei Metallplatten tragen, mit leichter Reibung verschiebbar sind. Um zu verhindern, dass bei der bisweilen erforderlichen Verschiebung der Platten P und P₁ die Drähte ableitend berührt werden, sind auf die äusseren Enden derselben die Siegellackklötze v und w aufgekittet. Durch den Ebonitstab L ist ein dritter, oben mit einer Klemmschraube u versehener Metallstift durchgeführt, der an seinem unteren, etwas verbreiterten Ende einen Aluminiumfoliestreifen m trägt. Die Länge dieses Streifens muss so abgepasst werden dass selbst bei der grössten Abweichung aus der Ruhelage eine Berührung des Blättchens mit einer der Platten P oder P₁ nicht eintreten kann. Die letzteren werden auf konstantem Potentiale dadurch erhalten, dass sie durch zwei Spiralen dünnen Kupferdrahtes mit den Polen z und z¹ einer an den Siegellackklötzen r und s im Innern des Kastens A aufgehängten Zambonis'schen Säule in Verbindung stehen. Die Mitte D dieser Säule ist

durch den Metalldraht x zur Erde abgeleitet. Durch Verschiebung der Platten P und P_1 lässt sich dem Instrumente die nötige Empfindlichkeit geben. Seine Isolationsfähigkeit ist ebenso vorzüglich, wie die des Exner'schen Elektroskopes.

Fig. 6.



Als Widerstand, durch dessen Einschaltung die Herabminderung zu hoher Spannungen auf ein mittelst des Exner'schen Elektroskopes messbares Intervall ermöglicht wird, dient (Fig. 6) ein Kartonpapierstreifen AB von 30 cm Länge und 3,6 cm Breite, der an seinen Enden zwei Stanniolbelegungen S und S' trägt. Der Siegellackklotz C ermöglicht, diesen Streifen so zwischen zwei passenden Klemmen auszuspannen, dass die Belegung S vom Erdboden isoliert ist. Der vom Metall freie Teil des Streifens a_1N wird durch die Marken a_2 bis a_6 so eingeteilt, dass die von N gezählten Teilstrecken $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$ u. s. f. der Länge a_1N betragen. Auf jede dieser Marken ist der mit dem in einem verschiebbaren Halter befestigten Exner'schen Elektroskope verbundene, leichtfedernde Metalldraht Y einstellbar.

Schliesslich ist noch dafür zu sorgen, dass die Ausflussgeschwindigkeit des Tropfensammlers eine konstante ist. Zu dem Ende erhält man das Niveau des in demselben befindlichen Wassers in stets gleicher Höhe, indem man eine geräumige, mit Wasser gefüllte Kochflasche, auf einer eingehängten Brücke ruhend, umgekehrt in denselben einführt.

Die beschriebenen Apparate werden in folgender Weise mit einander kombiniert: Von dem Tropfensammler führt man einen Draht zum Bohnenberger'schen Elektroskope und leitet denselben von dort zur isolierten Belegung S des Papierstreifens. Die Belegung S' wird gut zur Erde abgeleitet, ebenso das Gehäuse des Exner'schen Elektroskopes, während man den Draht Y auf eine der Marken, etwa a_1 vorläufig einstellt. Zunächst ist klar, dass jederzeit, solange der Tropfensammler überhaupt in Thätigkeit ist, das Bohnenberger'sche Elektroskop ständig das Zeichen des äusseren Potentialgefälles anzeigt. Bei der geringen Kapazität dieses Apparates lässt sich ferner der Zeitpunkt, in welchem dasselbe den Wert Null passiert, mit hinreichender Genauigkeit angeben; die bei Gewittern häufig auftretenden jähen Potentialschwankungen verraten sich sofort durch einen deutlichen Ausschlag des Blättchens.

Die Grösse der elektrischen Spannungen in relativem Maasse lässt sich durch das Exner'sche Elektroskop ermitteln, indem man den Draht Y solange an dem Papierstreifen von Marke zu Marke weiterschreitend verschiebt, bis ein bequemes Ablesen der Divergenz möglich ist. Um die so gewonnenen Potentialwerte auf ein einheitliches Maass (Marke a_1) zu reduzieren, hat man dieselben mit dem Index der Marke zu multiplizieren, mit welcher der Draht Y während der Messung im Kontakte war.

Die Berechtigung zu diesem Verfahren zeigt folgende Ueberlegung:

Setzen wir für den Augenblick das äussere Potentialgefälle als unveränderlich voraus, so führt der Tropfensammler, da für konstante Ausflussgeschwindigkeit Sorge getragen wurde, in der Zeiteinheit der Belegung S stets dieselbe Elektrizitätsmenge zu, der ein bestimmter, ebenfalls konstanter Potentialwert von a_1 entsprechen wird. Da nun S^1 mit der Erde in leitender Verbindung steht, so wird der Papierstreifen a_1N von einem elektrischen Strome mit linearem Potentialverlaufe (in der Figur durch die punktierte Linie MN angedeutet) durchflossen. Man kann daher jeden bei einer beliebigen Marke gemessenen Potentialwert benutzen, um a_1M , d. h. den Potentialwert bei Marke a_1 zu berechnen. Da nun $a_2N = \frac{1}{2}a_1N$; $a_4N = \frac{1}{4}a_1N$ u. s. f., so wird man den bei a_2 gemessenen Wert mit 2, den bei a_4 gemessenen Wert mit 4 u. s. f. zu multiplizieren haben, um ihn dem Potentialwerte bei a_1 gleich zu machen. Bleibt das äussere Potentialgefälle nicht konstant, so entspricht jeder Aenderung desselben eine proportionale Aenderung des Wertes a_1M ; im übrigen gilt dieselbe Ueberlegung wie oben.

Die beschriebene Methode hat den Fehler, dass Beobachtungen an verschiedenen Tagen nicht untereinander vergleichbar sind, da sich der elektrische Widerstand des Kartonpapierstreifens mit dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft und damit der Potentialwert bei a_1 sehr wesentlich verändert. Da dieser Widerstand aber während der Dauer einer Beobachtung als nahezu konstant — zumal der Streifen im Zimmer befindlich ist — angesehen werden kann, so stellen die auf obige Weise gewonnenen Zahlen mit grosser Annäherung den Verlauf der elektrischen Störungen während des Falles von Niederschlägen innerhalb des Beobachtungszeitraumes dar.

So lange es nicht gelingt, einen Halbleiter ohne hygroskopische Eigenschaften aufzufinden, wird man sich mit Beobachtungen der beschriebenen Art begnügen müssen. Schliesslich sei noch erwähnt, dass man gut thut, die Apparate, wenn Niederschläge zu erwarten sind, so frühzeitig als irgend möglich in den Stand zu setzen, um nicht überrascht zu werden. Sodann empfiehlt es sich einige Bogen Papier in Bereitschaft zu haben, die mit passenden Rubriken versehen ein übersichtliches und schnelles Eintragen der abgelesenen Zahlen, sowie sonstigen Bemerkungen über die Art des Niederschlages, die Häufigkeit der Blitzentladungen etc. ermöglichen.

Das von uns benutzte Schema folgt hier:

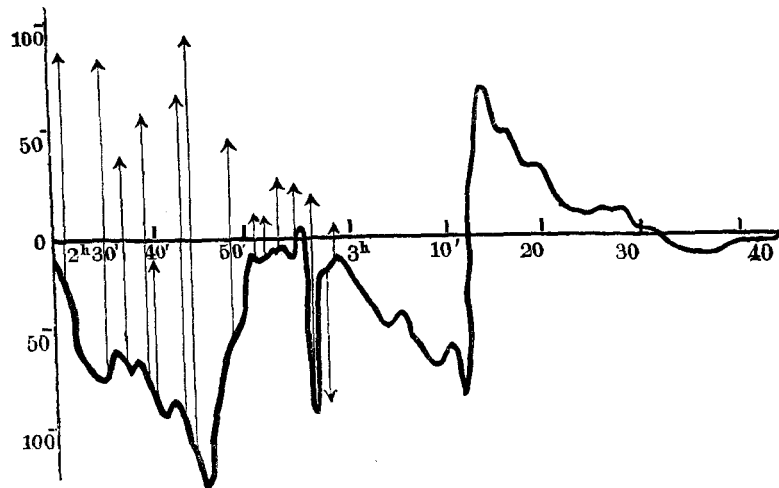
Gewitter aus SE am 3. Mai 1890.

Zeit	Zeichen	Marke	Skalenteile	Volt	Reduziert	Niederschlag	Bemerkungen
2 ^h 47'	—	11	8	123	1353	Regen, senkrecht	ferner Donner
48'	—	7	9	136	952	" "	" "
49'	—	6	9	136	816	" "	Stoss auf + 9, Marke 6
50'	—	2	4	60	120	lässt nach	
51'	—	2	7	111	222	noch schwächer	Stoss nach +, (sehr klein)

In der Rubrik „Bemerkungen“ werden auch die jähren Potentialschwankungen („Stösse“) nach Blitzentladungen nach Anzahl und ungefährer Grösse notiert. Beim Herannahen eines Gewitters genügt es, etwa alle 3 bis 5 Minuten die Instrumente abzulesen; nach Beginn des Regensfalls sind die beobachteten Werte thunlichst alle Minuten zu verzeichnen. Die Reduktion auf Marke a_1 erfolgt nach Schluss der Beobachtung.

Wir möchten alsdann noch die sofortige graphische Darstellung der Beobachtungsreihe empfehlen. Zu dem Ende trage man in ein Koordinatenkreuz als Abscissen die Zeiten, als Ordinaten die gemessenen, einheitlich reduzierten Potentialwerte ein und bezeichne jähre Schwankungen nach dem Vorgange des Herrn L. Weber^{48c)} durch Pfeile entsprechender Länge.

Fig. 7.



Figur 7 stellt eine von uns am 3. Mai 1890 gewonnene Beobachtungsreihe dar.

Der Zweck der vorliegenden Zusammenstellung wäre erreicht, wenn sie der zur Zeit noch geringen Zahl von Beobachtern auf dem Gebiete der atmosphärischen Elektrizität auch nur wenige neue zuführen würde. Von einer erhöhten Teilnahme an Untersuchungen dieser Art wäre neben den oben erörterten wissenschaftlichen Ergebnissen auch eine Verbesserung der Methoden zu erhoffen. Wir verkennen nicht, dass die hier beschriebenen zum Teil noch roh und unvollkommen sind. Verbesserungsvorschläge, wenn sie praktisch bewährt sind, wären allgemein zugänglich zu machen. Ein Verfahren, das nicht durch den Gebrauch erprobt ist, hat geringen Wert, manche theoretisch richtige Methode musste im Laufe der Zeit verlassen werden, da sie praktische Schwierigkeiten zeigte. Gerade bei Beobachtungen, die durch einen langen Zeitraum fortgesetzt werden sollen, ist eine gewisse Einfachheit des mechanischen Verfahrens nicht etwa bloß aus Rücksicht auf die Bequemlichkeit angenehm, sondern für das Zustandekommen des ganzen Unternehmens notwendig.

Man ist bei meteorologischen Beobachtungen dieser Art ohnehin so sehr von Zufälligkeiten abhängig, dass man zweckmässig in erster Linie alles darauf einrichtet, einen günstigen Augenblick nicht zu verfehlen und nach Möglichkeit auszunutzen. Verzichtet man auch ungern darauf, durch Anwendung der feinsten Methode das äusserste Maass der Genauigkeit zu erreichen, so kann doch, wenn es sich darum handelt, entweder das Beste ganz zu verfehlen oder wenigstens Brauchbares zu gewinnen, schliesslich die Wahl nicht zweifelhaft bleiben. Unbedingt zu fordern ist allerdings, dass nicht die Beobachtungsergebnisse allein, sondern auch das Verfahren, durch welches sie erhalten wurden, in allen wesentlichen Stücken veröffentlicht werde.

Man vergesse nicht, dass man es auf diesem Gebiete zunächst noch mit der Aufsuchung der grossen Veränderungen zu thun hat. Sind diese erst mit Sicherheit erkannt, dann werden auch die feineren Einzelheiten in Angriff zu nehmen sein.

Literatur-Verzeichnis.

- ¹⁾ F. Exner, Ueber die Ursache und die Gesetze der atmosphärischen Elektrizität (Sitzungsberichte der Kais. Akademie der Wissenschaften in Wien, Band 93, S. 222, 1886 und Exner's Repertorium, Band 22, S. 412).
- ²⁾ J. Kollert, Die neueren Beobachtungen und Theorien der atmosphärischen Elektrizität (Elektrotechnische Zeitschrift, 1887, Juni/Juli).
- ³⁾ W. Linss, Ueber einige die Wolken- und Luftelektrizität betreffenden Probleme. (Meteorologische Zeitschrift 1887, pag. 345).
- ⁴⁾ Coulomb, Mémoires de l'académie de Paris. 1785. (Kürzlich in Ostwald's Klassikern der exakten Wissenschaften erschienen.)
- ⁵⁾ E. Warburg, Ueber die Zerstreuung der Elektrizität in Gasen. Poggendorf's Annalen, Band 145, 1872, pag. 578.
- ⁶⁾ W. Linss, Ueber Elektrizitätszerstreuung in der freien Atmosphäre. (Elektrotechnische Zeitschrift 1890, Heft 38. Auch l. c. ³⁾ pag. 353.)
- ⁷⁾ F. Exner, Ueber die Abhängigkeit der atmosphärischen Elektrizität vom Wasserdampfgehalte der Luft. (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Band 96, S. 438, 1887.)
- ⁸⁾ F. Exner, Beobachtungen über atmosphärische Elektrizität in den Tropen II. (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Band 99, S. 623, 1890.)
- ⁹⁾ W. Hallwachs, Ueber den Einfluss des Lichtes auf elektrostatisch geladene Körper. Wiedemann's Annalen, Band 33, S. 301, 1888.
- ¹⁰⁾ S. Arrhenius, Ueber den Einfluss der Sonnenstrahlung auf die elektrischen Erscheinungen in der Erdatmosphäre. Meteorologische Zeitschrift, Band 5, S. 297, 1888.
- ¹¹⁾ J. Elster und H. Geitel, Ueber die Entladung negativ elektrisierter Körper durch Sonnen- und Tageslicht. (Wiedemann's Annalen, Band 38, S. 497, 1888.)
- ¹²⁾ L. Sohncke, Neuere Theorien der Luft- und Gewitterelektrizität. Himmel und Erde, Band I, S. 523.
- ¹³⁾ A. Righi, Sulla convezione fotoelettrica e su altri fenomeni nell' aria rarefatta, Bologna, 1890, pag. 31.
A. Righi, Sulle traiettorie percorse nella convezione fotoelettrica e su alcuni nuovi fenomeni elettrici nell' aria rarefatta. R. d. R. Accad. dei Lincei. Vol. VI. pag. 85, 1890.
- ¹⁴⁾ J. Elster und H. Geitel, Ueber den hemmenden Einfluss des Magnetismus auf lichtelektrische Entladungen in verdünnten Gasen. (Wiedemann's Annalen, Band 41, 1890, S. 166.)
- ¹⁵⁾ L. Boltzmann, Ueber die Wirkung des Magnetismus auf elektrische Entladungen in verdünnten Gasen. Wiedemann's Annalen, Band 31, S. 789, 1887.

- 16) Sir William Thomson, On atmospheric electricity. (Proc. of the Royal Institution of Great Britain, Vol. III, pag. 285, 1860.)
- 17) F. Exner, l. c. 1). Ferner Exner's Rep., Band 22, S. 451.
- 18) F. Exner, Ausser den zitierten Abhandlungen vergl.: Weitere Beobachtungen über atmosphärische Elektrizität. (Sitzungsberichte der K. A. d. W. in Wien, Band 47, S. 277, 1888) und Beobachtungen über atmosphärische Elektrizität in den Tropen I. (Dieselben Berichte Band 93, Juli 1889). ferner: J. Elster und H. Geitel, Beobachtungen über atmosphärische Elektrizität (Exner's Rep., Band 24, S. 486) und Messungen des normalen Potentialgefälles der atmosphärischen Elektrizität in absolutem Maasse. (Sitzungsberichte der K. A. d. W. in Wien, Band 93, S. 909, 1889)
- 19) F. Exner, l. c. 1). Ferner Exner's Rep., Band 22, S. 463.
- 20) J. Aitken, On the number of dust particles in the atmosphere. Nature, Band 37, S. 428, 1888.
- 21) W. Linss, l. c. 6).
- 22) Denza, Leggi della variazione diurna dell' elettricità atmosferica dedotte dalle osservazione diurne fatte all' osservatorio del R. collegio Carlo Alberto in Moncalieri dal 1871 al 1878. Atti della R. Accademia di Torino. Vol. XV pag. 351.
- 23) S. Arrhenius, l. c. 10) S. 356.
- 24) J. Hann, Resultate der meteorologischen Beobachtungen der französischen Polar-Expedition 1882/83 am Cap Horn. Meteorologische Zeitschrift, Band 6, S. 106, 1889.
- 25) van Bebber, Lehrbuch der Meteorologie, S. 240.
- 26) J. Hann, Untersuchungen über die tägliche Oscillation des Barometers. Wien 1889.
- 27) J. Elster und H. Geitel, l. c. 18). Messungen des Potentialgefälles S. 953.
- 28) F. Exner, l. c. 18). Weitere Beobachtungen S. 296—297.
- 29) F. Exner, ibid. S. 299.
- 30) J. Elster und H. Geitel, Elektrische Beobachtungen auf dem hohen Sonnblick. (Sitzungsberichte der K. A. d. W. in Wien. Im Druck.)
- 31) J. Elster und H. Geitel, ibid.
- 32) J. Elster und H. Geitel, l. c. 18). Messungen des Potentialgefälles, S. 951.
- 33) Pirona, Staubfälle in Alexandrien. (Meteorologische Zeitschrift, Maiheft 1889, S. 197.)
- 34) Elster und Geitel, Ueber eine während der totalen Sonnenfinsternis am 19. August 1887 ausgeführte Messung der atmosphärischen Elektrizität. (Meteorologische Zeitschrift, Januarheft 1888, S. 27.)
- 35) L. Palmieri, Die atmosphärische Elektrizität (Uebersetzung von H. Discher), Wien 1884, S. 30.
- 36) L. Palmieri, ibid. S. 36.
- 37) van Bebber, l. c. 25), S. 239.
- 38) W. Linss, l. c. 3), S. 349.
- 39) J. Elster und H. Geitel, Beobachtungen, betreffend die elektrische Natur der atmosphärischen Niederschläge. (Sitzungsberichte der K. A. d. W. in Wien, Band 99, S. 421.)
- 40) J. Elster und H. Geitel, ibid. S. 443. Ferner: Bemerkungen über den elektrischen Vorgang in den Gewitterwolken (Wiedemann's Annalen, Band 25, S. 116) und: Ueber die Elektrizitätsentwicklung bei der Regenbildung (Ibid. S. 121). Ferner: Zur Frage nach dem Ursprunge der Wolkenelektrizität (4 Jahresbericht des Vereins für Naturwissenschaft in Braunschweig, S. 40, 1886.)
- 41) F. Exner, Ueber transportable Apparate zur Beobachtung der atmosphärischen Elektrizität (Sitzungsberichte der K. Akad. d. W. in Wien, Band 95, S. 1084, 1887.)
- 42) W. Linss, l. c. 6).
- 43) L. Weber, Mitteilungen, betreffend die im Auftrage des elektrotechnischen Vereines ausgeführten Untersuchungen über atmosphärische Elektrizität.
a. 3. Bericht, Elektrotechnische Zeitschrift, Band 10, S. 387, 1889.
b. 4. Bericht, ibid. S. 521.
c. Gewitterkurven, ibid. S. 574.
- 44) F. Exner, l. c. 1). Ferner: Exner's Repert., Band 22, S. 463.

